

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**ELABORACIÓN DE JABÓN DURO A PARTIR DE ACEITE  
USADO, PROVENIENTE DE FRITURAS DE POLLO POR EL  
MÉTODO DE REACCIÓN EN CALIENTE**

**Por:**

**LUZ MARIELA CHAMBILLA CHOQUE**

**Proyecto de grado presentado a consideración de la UNIVERSIDAD AUTÓNOMA  
“JUAN MISAEL SARACHO”, como requisito para optar el grado académico de  
Licenciatura en Ingeniería Química.**

**Septiembre de 2016**

**TARIJA-BOLIVIA**

## RESUMEN

El presente trabajo es el resultado de una investigación que tiene por objeto elaborar jabones duros a partir de aceites usados provenientes de frituras de pollo, que se recolecta de los diferentes locales de comida rápida de la zona urbana de la ciudad de Tarija.

El aceite usado al no contar con alternativas de uso o reciclaje termina siendo vertidos a las alcantarillas sin recibir un tratamiento previo. Como medio de ofrecer una solución a esta problemática, se estudió las características de los aceites usados para ser reciclados y utilizados como materia prima en la fabricación de jabón duro. Mediante una encuesta realizada se tiene disponibilidad de materia prima de 23724 lt/año.

El proceso de elaboración del jabón duro consta de cuatro etapas; siendo la primera una etapa de acondicionamiento de la materia prima que se realiza con la finalidad de eliminar materia extrañas como restos de pollo y otras impurezas, el aceite usado con un Índice de Saponificación de 203,37 mg KOH/g aceite, Índice de Peróxidos de 19,77 meqO<sub>2</sub>/kg e Índice de Acidez de 2,13% entra a una segunda etapa que corresponde a la saponificación entre los ácidos grasos principalmente el linoleico, oleico, linolénico, palmítico y esteárico del aceite usado y el hidróxido de sodio por el método de reacción en caliente; la tercera etapa al moldeado de la pasta jabonosa y la cuarta etapa al secado del jabón.

Para las pruebas experimentales se ha utilizado un diseño factorial de 2<sup>3</sup> tomando tres variables a dos niveles: el tiempo de reacción 30 y 60 min, temperatura de reacción 40 y 50°C y la concentración del hidróxido de sodio 35 y 40 % m/v, ensayos realizados cada uno con sus repeticiones. El análisis estadístico de las experiencias son evaluadas utilizando el programa estadístico SPSS el mismo determina que el efecto de las variables temperatura, tiempo, concentración y la interacción tiempo-concentración influyen sobre el índice de saponificación del jabón obtenido.

De las experiencias realizadas la formulación con la cual se obtiene un producto de calidad aceptable es la siguiente:

Tiempo de reacción = 60 min

Temperatura de reacción = 40 °C

Concentración del hidróxido de sodio = 40 % m/v (43,6 ml)

El jabón duro obtenido se comparó con jabones que se comercializan en el mercado (Jabón OSO y Jabón Cosquín), esta comparación fue beneficiosa para comprender cuales eran los parámetros del producto y se propuso llegar a este rango aceptable.

Los análisis de control de calidad de los mismos tienen los siguientes parámetros:

<b><i>Propiedades Físicas de Jabones Duros existentes en el Mercado</i></b>			
<b><i>Propiedad Evaluada</i></b>	<b><i>Oso</i></b>	<b><i>Cosquin</i></b>	<b><i>Jabón obtenido</i></b>
Forma	Barra	Barra	Barra
Color	Verde	Verde	Crema
ph	10,80	10,74	10,59
Textura	Suave	Suave	Suave
Humedad (%)	5,83	4,56	9,12
Índice de saponificación (mg KOH/gr aceite)	20,09	18,45	17,72
Dureza <sup>a</sup>	1,25	1,25	1,25

Fuente: Elaboración propia

Según los datos de los análisis se puede concluir que el jabón duro obtenido es apto para ser comercializado en el mercado tarijeño, pudiendo ser utilizado para el lavado de ropa. Se determinó un costo unitario aproximadamente de 2,17 Bs. por cada barra de 200 gr jabón.

**CAPÍTULO I**  
**MARCO TEÓRICO**

## CAPÍTULO I

### MARCO TEÓRICO

#### 1.1 JABÓN

Del latín: *sapo*, jabón y *facere*, hacer (convertir en jabón).

Los jabones son sales sódicas o potásicas de los ácidos grasos especialmente Linoleico 54%; Oleico 22%; Linolénico 7,3%; Palmítico 9,5%; Esteárico 4%. El ácido graso puede ser de origen vegetal o animal. El jabón comúnmente se disuelve en agua, es espumoso y cremoso, es un producto de uso diario que sirve para la higiene personal y para lavar, limpiar diversos objetos. Se encuentra en barra, en polvo, en crema o líquido. (Galindo R., 2014)

El jabón es un producto básico de pH entre 9 a 11, es un material muy versátil capaz de aceptar un alto rango de aditivos sólidos y líquidos, la única limitación real es que los aditivos pueden degradar químicamente el producto y causar daño físico al equipo que se utiliza en el proceso o lesiones en el trabajador o al usuario final. La calidad de los materiales a usar tiene un efecto importante en el color y la fragancia final del producto terminado y es importante escogerlos en forma correcta de acuerdo al tipo de jabón y al uso final.

Desde el punto de vista químico, el jabón es una sal orgánica, que se obtiene mediante el proceso de saponificación, que consiste en la reacción de hidrólisis de ácidos grasos o de aceites con una base (hidróxido de sodio). Esta reacción produce la sal del ácido graso empleado, es decir, el jabón más glicerina.

#### 1.2 TIPOS DE JABONES

Entre los jabones utilizados se citan por su mayor uso, los siguientes: jabón duro o sódico, jabón blando o potásico, jabón medicinal o jabón de origen animal:

### **1.2.1 JABONES DUROS**

Se fabrican con un elevado porcentaje de ácido graso saturado, que se saponifican con hidróxido de sodio, dando como resultados, jabones de consistencia dura y compacta, son de color blanco o ligeramente amarillento.

Solubles en agua con reacción alcalina y en alcohol en caliente.

### **1.2.2 JABONES BLANDOS**

Son jabones semifluidos que se producen con ácidos grasos insaturados, como por ejemplo el de aceites vegetales los cuales se saponifican con hidróxido de potasio, obteniéndose jabones de consistencia blanda y untuoso al tacto, de color amarillento pardusco, diáfano en lámina delgada y traslúcido en masa, y soluble en agua y etanol.

### **1.2.3 JABÓN DE ORIGEN ANIMAL**

Se obtiene por saponificación de grasas animales, ácidos grasos saturados, con lejía de sosa. Se prepara como el jabón medicinal, sustituyendo en la fórmula el aceite por la grasa animal empleada. Tiene consistencia dura y color blanco mate, que con el tiempo pasa a amarillento y es fácilmente pulverizable.

Soluble en agua destilada y en alcohol de 90° en caliente.

## **1.3 CLASIFICACIÓN Y APLICACIÓN DE LOS JABONES**

La mejor clasificación de los jabones se basa en el uso para los que hayan sido fabricados. Los de mejor calidad son los jabones de tocador para los cuales se utilizan aceites de color más claro. Se fabrican en forma de barra o pastillas con grasas y aceite de alta calidad y contienen poco álcali. Las grasas y aceites empleadas para hacer los jabones blancos de tocador son de color más claro que los utilizados para fabricar jabones de color. Sigue al anterior en calidad el grupo de jabones de servicio ligero que se presenta en forma de pastilla, polvos, gránulos y escamas. Se usan para lavar trastos, tejidos de lana y otras telas finas son jabones casi puros hechos con grasas de color ligeramente más oscuros que los de tocador.

Los aceites usados más oscuros se emplean en la fabricación de jabones para el lavado de ropa, como es en este caso, la elaboración de jabón duro a partir de aceite usado. (Castellón A., 2013)

#### 1.4 PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE LOS JABONES

Las propiedades sobre todo las físicas, varían según las materias primas empleadas en su fabricación, de acuerdo a la clasificación antes mencionada se detalla las propiedades fisicoquímicas de cada tipo de jabón.

**TABLA I - 1**  
**PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE LOS JABONES**

<i>Propiedades Fisicoquímicas de los Jabones</i>		
<i>Propiedad Evaluada</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>
Punto de Fusión	230 a 270	°C
Densidad	1,05	g/ml
ph	9 -11	-
Formación de Espuma	Si	Visual
Dureza <sup>a</sup>	1,25 – 3	-

a: Medida por resistencia al corte con alambre

Fuente: (Bailey A. Aceites y grasas industriales, 1951)

Bailey A., muestra una tabla donde expone la dureza de los jabones de diferentes aceites y grasas, según la medida por resistencia al corte con alambre.

**TABLA I – 2**  
**DUREZA DE JABONES DE DIFERENTES ACEITES Y GRASAS**

<i>Dureza de Jabones de diferentes aceites y grasas</i>	
De Palma	5
De Sebo	3
De Algodón	1,75
De Soya	1,25
De Cacahuete	1,25

Fuente: (Bailey A. Aceites y grasas industriales, 1951)

#### **1.4.1 SOLUBILIDAD**

En general, la solubilidad de los jabones sódicos es baja y aumenta con la temperatura; la solubilidad de los jabones potásicos es mayor.

Como la solubilidad y dureza de las sales de sodio de los diferentes ácidos grasos difieren en forma considerable, para la fabricación del jabón se debe elegir la materia prima de acuerdo con las propiedades deseadas, con la debida consideración respecto a su costo. A continuación se muestra la solubilidad de algunos jabones puros; como el estearato de sodio (saponificación del ácido esteárico con hidróxido de sodio), oleato de sodio (saponificación del ácido oleico con hidróxido de sodio) y el palmitato de sodio (saponificación del ácido palmítico con hidróxido de sodio).

**TABLA I - 3**  
**SOLUBILIDAD DE JABÓN PURO**

<i>Jabón</i>	<i>Estearato</i>	<i>Oleato</i>	<i>Palmitato</i>	<i>Unidad</i>
De Sodio	0.1 aprox	18.1	0.8 aprox	gr/ml

Fuente: George Austin, Manual de Procesos Químicos en la Industria

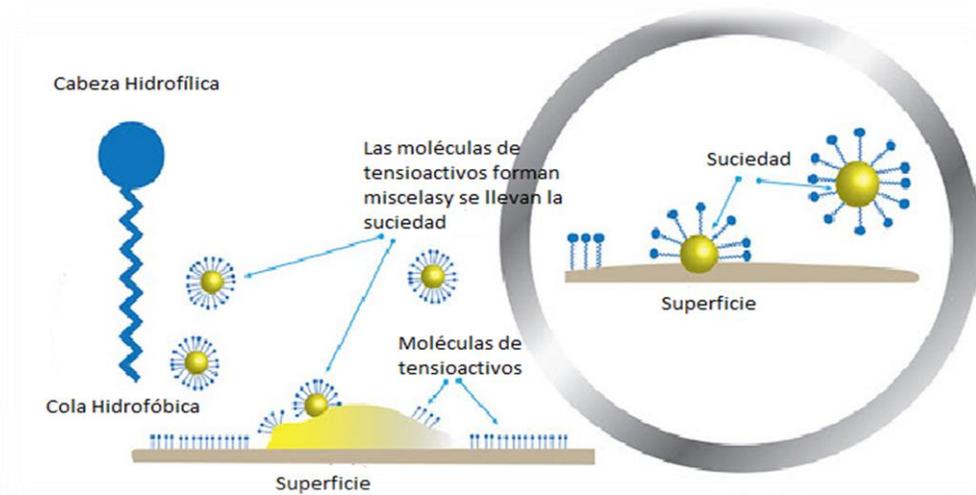
## 1.5 PODER DETERGENTE DE LOS JABONES

Los jabones ejercen su acción limpiadora sobre las grasas en presencia del agua debido a la estructura de sus moléculas. Éstas tienen una parte lipófila y otra hidrófila.

El componente hidrofóbico hace que el jabón “moje” la grasa disolviéndola y el componente hidrófilico hace que el jabón se disuelva a su vez en el agua.

Las manchas de grasa no se pueden eliminar solo con agua por ser insolubles en ella. El jabón en cambio, que es soluble en ambas, permite que la grasa se diluya en el agua.

**FIGURA I – 1**  
**PODER DETERGENTE**



Fuente: Erika Paola, Bloque informativo, 2013

Cuando un jabón se disuelve en agua disminuye la tensión superficial de ésta, con lo que favorece su penetración en los intersticios de la sustancia a lavar. Por otra parte, los grupos hidrofóbico del jabón se disuelven unos en otros; mientras que los grupos hidrófilico se orientan hacia el agua generando un coloide, es decir, un agregado de muchas moléculas convenientemente orientadas. (Wikipedia, 2014)

Este proceso puede representarse de la siguiente manera:

**MATERIAL SUCIO + JABÓN ↔ SUCIEDAD UNIDA AL JABÓN + MATERIAL LIMPIO**

La suciedad estará unida al material y al jabón formando compuestos de absorción. Por lo general la suciedad está unida a la superficie sucia del material por medio de una capa de aceite o grasa. Limpiar esta superficie significa separar esa capa de suciedad mediante una solución jabonosa y luego eliminar ésta con el agua de lavado.

La solución jabonosa separa la película aceitosa que ensucia el material formando pequeñas gotas. Es evidente, que tanto las gotitas de aceite como las partículas de suciedad se depositarían nuevamente sobre la superficie del material, si no fuera por el poder emulsionante del jabón que salva este inconveniente manteniendo en forma estable la suspensión. (Bailey A. 2° edición, 1951)

## **1.6 MATERIAS PRIMAS PARA LA ELABORACIÓN DEL JABÓN DURO**

Los aceites utilizados son compuestos de glicerina y un ácido graso especialmente Linoleico 54%; Oleico 22%; Linolénico 7,3%; Palmítico 9,5%; Esteárico 4%, cuando estos compuestos se tratan con una solución de un álcali, como el hidróxido de sodio, en un proceso denominado saponificación, se descomponen formando glicerina y la sal de sodio de los ácidos grasos. Los ácidos grasos que se requieren para la fabricación del jabón se obtiene de los aceites de sebo, grasa y pescado, mientras que los aceites vegetales se obtienen, por ejemplo, del aceite de coco, de oliva, de palma, de soja (soya), de girasol o de maíz. Los jabones duros se fabrican de aceites y grasas que contiene un elevado porcentaje de ácidos grasos saturados, que se saponifican con el hidróxido de sodio. Los jabones blandos son jabones semifluidos que se producen con aceite de lino, aceite de semilla de algodón y aceite de pescado, los cuales se saponifican con hidróxido de potasio.

A continuación se indican las materias primas más importantes empleadas en la fabricación de jabones:

- Aceites Vegetales

- Aceites Comestibles Usados
- Hidróxido de Sodio

### **1.6.1 ACEITES VEGETALES**

Los triglicéridos son los constituyentes principales de los aceites vegetales y las grasas animales, los triglicéridos tienen densidades más bajas que el agua y pueden ser sólidos o líquidos a temperatura normal del ambiente. Los triglicéridos sólidos a temperatura ambiente son denominados “grasas”, mientras que los triglicéridos que son líquidos son conocidos como “aceites”. Químicamente las grasas están formadas mayoritariamente por ácidos grasos saturados y los aceites formados principalmente por ácidos grasos insaturados.

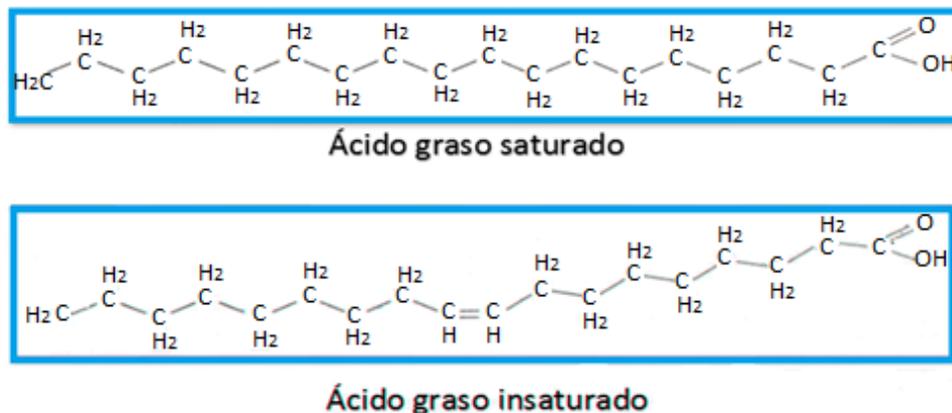
#### **1.6.1.1 ÁCIDOS GRASOS SATURADOS**

Los ácidos grasos saturados comprenden aquellos ácidos que contienen en su estructura enlaces simples carbono-carbono, son aquellos con la cadena hidrocarbonada repleta de hidrógenos, por lo que todos los enlaces entre sus átomos de carbono son simples, sin ningún doble enlace, lo que se traduce en una estructura rectilínea de la molécula. Tienen un punto de fusión más elevado que sus homólogos insaturados por lo que son sólidos a temperatura ambiente.

#### **1.6.1.2 ÁCIDOS GRASOS INSATURADOS**

Los ácidos grasos insaturados poseen dobles enlaces  $C=C$  y pueden tener una o más insaturaciones. Los dobles enlaces están generalmente separados por un grupo metileno ( $-CH_2-$ ), por lo que no son conjugados. Se encuentran en general en la configuración *cis*, o sea, los átomos de C contiguos están orientados hacia el mismo lado y generan con ello un doblez en la cadena del hidrocarburo. La posición de la insaturación (doble enlace) se indica a veces con la letra griega omega y un número: omega-3, omega-5, omega-6. El número designa en qué enlace se encuentra la insaturación, contando desde el final de la cadena.

**FIGURA I - 2**  
**ESTRUCTURA DE UN ÁCIDO GRASO SATURADO Y UN ÁCIDO GRASO INSATURADO**



Fuente: Biomoléculas orgánicas – Biología 1,2015

Se detallan a continuación las características fisicoquímicas del aceite vegetal:

**TABLA I - 4**  
**CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DEL ACEITE VEGETAL**

	<i>Unidades</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>
% Acidez (como oleico)	%	-	0.07
Color	Lb	-	2R30A
Densidad(20-25)°C	gr/ml	0.917	0.925
Índice de peróxidos	Meq de O <sub>2</sub>	-	6
Índice de saponificación	mg KOH/g de aceite	188	195

Fuente: Fábrica de aceites ITIKA S.A. 2014

El aceite vegetal es un compuesto orgánico obtenido a partir de semillas u otras partes de las plantas en cuyos tejidos se acumula como fuente de energía. Los aceites vegetales son preferibles a las grasas animales para el consumo humano. Esto se debe a que son ricos en ácidos grasos como el Linoleico, Oleico, Linolénico, Palmítico,

Esteárico, una cualidad muy importante para la transformación de grasa en el organismo humano. Los aceites vegetales más usados para consumo humano son el de soya y girasol.

Entre los aceites adecuados para fritura a alta temperatura (por encima de 230 °C) gracias a su alto punto de humeo están:

- Aceite de cártamo
- Aceite de girasol
- Aceite de sésamo (semi refinado)
- Aceite de soja

La tabla I-5 muestra la composición química de las grasas de origen vegetal, expresado en % de grasa verdadera, en la parte inferior de la tabla se indica las características principales de los ácidos grasos como ser: Índice Iodo, Título, Índice de Saponificación, la relación Saturad. /Insaturad.

El título en un aceite es el punto de solidificación de los ácidos grasos presentes en el mismo, expresados en grados centígrados.

#### **TABLA I – 5**

## COMPOSICIÓN DE ÁCIDOS GRASOS EN ACEITE VEGETALES

<i>COMPOSICIÓN DE ÁCIDOS GRASOS EN ACEITE VEGETALES</i>							
<i>Perfil del Ácido</i>		<i>Fórmula Química</i>	<i>Girasol</i>	<i>Soya</i>	<i>Linaza</i>	<i>Oliva</i>	<i>Palma</i>
<i>Graso (%)</i>							
<i>Nombre Común</i>	<b>Mirístico</b>	$C_{13}H_{27}COOH$	-	tr.	tr.	tr.	1.0
<i>Nombre IUPAC</i>	Ácido tetradecanoico	$CH_3-(CH_2)_{12}-COOH$					
<i>Nombre Común</i>	<b>Palmítico</b>	$C_{15}H_{31}COOH$	6.4	9.5	6.0	10.0	43.0
<i>Nombre IUPAC</i>	Ácido hexadecanoico	$CH_3-(CH_2)_{14}-COOH$					
<i>Nombre Común</i>	<b>Palmitoleico</b>	$C_{15}H_{29}COOH$	tr.	0.2	tr.	0.2	0.3
<i>Nombre IUPAC</i>	Ácido delta-9-cis-hexadecenoico	$CH_3-(CH_2)_5-CH=CH-(CH_2)_7-COOH$					
<i>Nombre Común</i>	<b>Estearico</b>	$C_{17}H_{35}COOH$	5.0	4.0	4.5	3.5	4.8
<i>Nombre IUPAC</i>	Ácido octadecanoico	$CH_3-(CH_2)_{16}-COOH$					
<i>Nombre Común</i>	<b>Oleico</b>	$C_{17}H_{33}COOH$	22.6	22.0	19.0	78.0	40.0
<i>Nombre IUPAC</i>	Ácido cis-9-octadecenoico	$CH_3-(CH_2)_7-CH=CH-(CH_2)_7-COOH$					
<i>Nombre Común</i>	<b>Linoleico</b>	$C_{17}H_{31}COOH$	63.0	54.0	16.0	6.5	10.0
<i>Nombre IUPAC</i>	Ácido 9-12 octadecadienoico	$CH_3-(CH_2)_4-CH=CH-CH_2-CH=CH-(CH_2)_7-COOH$					
<i>Nombre Común</i>	<b>Linolénico</b>	$C_{17}H_{29}COOH$	<0.5	7.3	54	0.3	tr.
<i>Nombre IUPAC</i>	Ácido cis-cis-cis-9-12-15-octadecatrienoico	$CH_3-CH_2-CH=CH-CH_2-CH=CH-CH_2-CH=CH-(CH_2)_7-COOH$					
<b>C<sub>≥20</sub></b>			1.1	1.1	1.0	tr.	tr.
<b>CARACTERÍSTICAS</b>							
<b>Índice de Iodo (mg I/ gr aceite)</b>			132	130	180	85	52
<b>Título (°C)</b>			18	18	21	23	42
<b>Índice de Saponificación (mg KoH/gr de aceite)</b>			191	192	180	190	200
<b>Saturados/Insaturados</b>			0.14	0.18	0.10	0.18	0.96

Fuente: FundaciónFedna.org, 2003

### 1.6.2 ACEITES COMESTIBLES USADOS

Se entiende por aceites comestibles usados a los productos lipídicos de origen vegetal, utilizados en acciones de cocción y fritura, el cual se desnaturaliza por las altas temperaturas, modificando sus características organolépticas y fisicoquímicas (eliminan vitaminas, peróxidos y acidez elevados) produciendo modificaciones en la composición de los ácidos grasos insaturados que lo forman, perdiendo las características principales (son viscosas, de color oscuro, se crean bacterias y hongos) siendo no aptas para el consumo humano y convirtiéndose en un residuo orgánico no peligroso pero contaminante. (Wadnípar M., 2011)

Mora J. (2007) de la Universidad de Pamplona Colombia en su tesis “Efecto de la temperatura en la variación de la viscosidad de un aceite degradado por fritura en inmersión de papas”, realizó un estudio sobre la estabilidad fisicoquímica y sensorial en aceites de origen vegetal sometidos a calentamiento por períodos de hasta 10 horas, a temperaturas entre 160 °C y 180°C y muestra que la cantidad de ácidos grasos insaturados, disminuye en la misma magnitud en que se incrementan los porcentajes de ácidos grasos saturados y ácidos grasos trans, especialmente a 180°C. (Mora J. 2007)

Castañeda A. (2016) realizó un estudio de la degradación de ácidos grasos contenidos en aceites comestibles sometidos a estrés térmico (200- 220°C). De acuerdo a este estudio el aceite de soya se compone mayoritariamente por ácidos grasos insaturados (+80%). Predomina la presencia de ácido linoleico más del 60%, seguido de los ácidos oleico con 16,4 % y palmítico con 12,8%, respectivamente; éste último saturado. Por otro lado, se sabe que durante el calentamiento los ácidos grasos más insaturados son los primeros en sufrir cambios; por lo que, se observó que el ácido linoleico suele perder las insaturaciones y adquirir forma de ácido oleico. (Castañeda A., 2016) (Ver Anexo 1)

Entre los factores que favorecen las alteraciones del aceite durante el proceso de fritura se encuentran:

- Altas temperaturas.

- Exposición al oxígeno del aire.
- Mayor superficie de contacto aceite-aire.
- Presencia de agua desprendida por el alimento.
- Largo tiempo de proceso.
- Presencia de contaminantes metálicos.
- Acción de la luz.
- Presencia de partículas quemadas en el medio.
- Contaminación por especies químicas provenientes del alimento.

Los procesos y alteraciones que sufre el aceite durante la fritura son:

**Hidrólisis:** Es la reacción química que se produce entre el agua y el aceite, dando como consecuencia un aumento de los ácidos grasos libres que favorecen la oxidación del mismo.

Es determinada fundamentalmente por la humedad que tenga el aceite en el momento de su calentamiento o enfriamiento y durante su almacenamiento, es decir, cuando pueden existir temperaturas menores de 100°C el agua no se evapora. Durante la fritura la hidrólisis tiene poca incidencia por las altas temperaturas que la caracterizan. Hay también incidencia del agua del alimento pero en menor grado; debido a las temperaturas existentes durante el proceso ésta se elimina como vapor. Estas reacciones hacen que el aceite tome un olor y sabor desagradable. (Monografías, 2005)

**Oxidación:** Consiste en la acción del oxígeno del aire sobre los ácidos grasos (principalmente los poliinsaturados) formando compuestos inestables llamados hidroperóxidos y radicales libres. **Los ácidos grasos insaturados, pasan a ser saturados por lo que son alterados térmicamente por la acción de la fritura** (Esquivel A., 2015), por lo que las cualidades beneficiosas para la salud se pierden. En las reacciones posteriores aparecen, hidrocarburos, lactonas, alcoholes,

compuestos carbonilos, ácidos, epóxidos, etc. La presencia de estas sustancias provoca cambios sensoriales, alteraciones del olor y el sabor, conocidos como rancios, también el oscurecimiento del producto y la afectación de su palatabilidad. El sabor rancio se debe a la presencia de ácidos orgánicos de cadena corta como fórmico, acético y propiónico. (Monografías, 2005)

**Polimerización:** La polimerización es la reacción de una grasa con ella misma, por lo cual se combinan moléculas relativamente pequeñas de aceite para formar moléculas de mayor tamaño y peso molecular (polímeros) muchos de ellos son tóxicos, además oscurecen el aceite. Los polímeros aumentan la viscosidad del aceite y provoca la formación de espuma y por tanto se incrementa el proceso oxidativo. (Monografías, 2005)

La tabla I - 6 expone diferentes cambios físicos y químicos de tres triacilglicéridos o triglicéridos como la trilinoleína, trioleína y triestearina sometidos a una simulación de un proceso de fritura (185°C durante 74 horas).

**TABLA I – 6**  
**CAMBIOS FÍSICOS Y QUÍMICOS DE TRES TRIACILGLICÉRIDOS SOMETIDOS A UNA SIMULACIÓN DE UN PROCESO DE FRITURA (185°C DURANTE 74 HORAS)**

<i>Detalle</i>	<i>Trilinoleína (18:2)</i>		<i>Trioleína (18:1)</i>		<i>Triestearina (18:0)</i>	
	<i>Inicio</i>	<i>Final</i>	<i>Inicio</i>	<i>Final</i>	<i>Inicio</i>	<i>Final</i>
Color (fotométrico)	3.5	76.0	5.8	62.5	1.3	12.0
Ácidos grasos libres (%)	0.04	2.6	Nulo	3.9	Nulo	4.0
Índice de yodo (g halógeno/100g grasa)	176.0	155.4	85.0	78.1	0.0	0.5
Índice de peróxido (meq O <sub>2</sub> peróxido/kg grasa)	2.58	4.7	0.9	3.4	0.0	3.2
Índice de refracción (40°C)	1.4728	1.4793	1.4632	1.4655	1.4402	1.4420
Viscosidad (centistokes, 30°C)	36.2	200.6	56.2	101.8	16.0	21.1

Fuente: Monografías, 2005

Claramente se puede apreciar los cambios significativos que sufren los triacilglicéridos al ser sometidos a frituras a temperaturas altas.

A continuación se detallan las características fisicoquímicas de los aceites usados:

**TABLA I – 7**  
**CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DE LOS ACEITES USADOS**

<i>Detalle</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>
Índice de Saponificación	201,5	mgKOH/gr de aceite
Índice de Acidez	9,193	%
Índice de Peróxidos	19,91	meqO <sub>2</sub> /kg
Densidad	0,911	g/ml
Color	Café oscuro	Visual

Fuente: Bastidas V.- Montilla E., 2003

Se realizó una encuesta para determinar la cantidad de aceite desechado en las principales pollerías de la ciudad de Tarija, (ver anexo 1) obteniendo un promedio de 116,30 Lts por mes desechado por cada empresa encuestada; haciendo un total de 23 724 Lts al año de aceite desechado por estas empresas, pretendiendo utilizar esta cantidad para la elaboración de jabón duro.

### **1.6.2.1 CARACTERIZACIÓN DEL ACEITE USADO**

Para la caracterización de la materia prima (aceite usado) se realiza, los análisis de índice de saponificación, índice de peróxidos e índice de acidez de acuerdo a normas Ibnorca.

La determinación de estos tres parámetros en la materia prima, ayuda a determinar que estos aceites se encuentran fuera del rango aceptable, para la alimentación, es por eso que se destinan a otra aplicabilidad como la producción de jabones.

La caracterización se realiza de acuerdo a los siguientes análisis:

#### **1.6.2.1.1 ÍNDICE DE SAPONIFICACIÓN**

El índice de saponificación se obtiene con objeto de saber si la materia grasa no se ha tratado químicamente. Este índice se designa con el número de miligramos de hidróxido de potasio que se contiene en un gramo de grasa. (Varón E., 2008)

La Norma Boliviana utilizada como referencia es NB 34005, Determinación del índice de saponificación. (Ver anexo 2)

Es importante la determinación de este parámetro para saber la cantidad de hidróxido que se debe utilizar para la elaboración de jabón duro, ya que puede influir en la calidad del producto.

#### **1.6.2.1.2 ÍNDICE DE PERÓXIDO**

El índice de peróxido de una materia grasa, es la medida de su contenido en oxígeno activo, expresado en términos de miliequivalentes de oxígeno en forma de peróxido por kilogramo de grasa o aceite. (Colpos Mx., 1987)

La Norma Boliviana utilizada como referencia es NB 34008, Determinación del índice de peróxido. (Ver anexo 2)

Este parámetro tiene una relación cercana con el índice de acidez ya que al romperse la molécula de triglicéridos en el proceso de elaboración de jabón duro, aumenta el porcentaje de ácidos grasos libres, elevando con ello la acidez y también se incrementan los niveles de glicerol, produciéndose como consecuencia una oxidación espontánea de estos compuestos en presencia de oxígeno, lo que traduciría en un aumento del índice de peróxido.

#### **1.6.2.1.3 ÍNDICE DE ACIDEZ**

El índice de acidez sirve para calcular el contenido de ácidos grasos libres. El resultado se da en función del número de miligramos de hidróxido de potasio necesarios para neutralizar los ácidos minerales u orgánicos libres que se contienen en un gramo de grasa. (Varón E., 2008)

La Norma Boliviana utilizada como referencia es NB 34004, Determinación del índice de acidez. (Ver anexo 2)

Los análisis necesarios de la caracterización de la materia prima que intervienen en el proceso de saponificación son los indicados en la tabla siguiente:

**TABLA I – 8**  
**VALORES DE REFERENCIA DE MATERIA PRIMA**

<i>Detalle</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>
Índice de Saponificación	201.5	mgKOH/gr de aceite
Índice de Acidez	9,19	%
Índice de Peróxidos	19,91	meqO <sub>2</sub> /kg

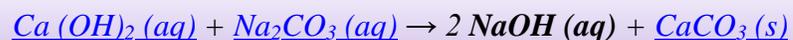
Fuente: Bastidas V.- Montilla E., 2003

### 1.6.3 HIDRÓXIDO DE SODIO

Su fórmula química es (NaOH), también conocido como sosa cáustica, a temperatura ambiente, el hidróxido de sodio es un sólido blanco cristalino sin olor que absorbe humedad del aire (higroscópico). El hidróxido de sodio es muy corrosivo, generalmente se usa en forma sólida o como una solución de 50%. Es usado en la industria (principalmente como una base química) en la fabricación de papel, tejidos, y detergente.

El hidróxido de sodio se usa para fabricar jabones, crayón, papel, explosivos, pinturas y productos de petróleo. También se usa en el procesamiento de textiles de algodón, lavandería y blanqueado, revestimiento de óxidos, galvanoplastia y extracción electrolítica. Se encuentra comúnmente en limpiadores de desagües y hornos.

El hidróxido de sodio, en su mayoría, se sintetiza por el método de caustificación, es decir, juntando otro hidróxido con un compuesto de sodio:



Aunque modernamente se fabrica por electrólisis de una solución acuosa de cloruro sódico o salmuera, también es un subproducto que resulta del proceso que se utiliza para producir cloro. (Wikipedia, 2009)

### 1.6.3.1 PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

- **PROPIEDADES FÍSICAS**

**Fórmula:** NaOH      **Peso Molecular:** 40.01 gr/mol      **Composición:** Na: 57.48 %  
H: 2.52 %    O: 40.00%

**TABLA I – 9**  
**PROPIEDADES FISICAS Y TERMODINAMICAS**

<i>Propiedades Físicas y Termodinámicas Hidróxido de Sodio</i>		
<i>Detalle</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>
Punto de ebullición	1388 (760 mm de Hg)	°C
Punto de fusión	318.4	°C
Índice de refracción a 589.4 nm	1.433(320 °C) y 1.421(420 °C)	°C
Presión de vapor	1 (739 °C)	Mm
Densidad	2.13 (25 °C)	g/ml
Solubilidad	50/100	g/ml
pH de disoluciones acuosas (peso/peso): 0.05 %:12; 0.5 %: 13 y 5 %	14	-
Calor específico	0.35 (20 °C)	cal/g
Calor latente de fusión	40	cal/g
Calor de formación	100.97 (forma alfa) 101.95 (forma beta )	Kcal/mol
Energía libre de formación	90.7 (25 °C y 760 mm de Hg)	Kcal/ mol

Fuente: Hoja de seguridad hidróxido de sodio, 2010

- **PROPIEDADES QUÍMICAS**

El NaOH reacciona con metales como Al, Zn y Sn, generando aniones como  $\text{AlO}_2^-$ ,  $\text{ZnO}_2^-$  y  $\text{SnO}_3^{2-}$  e hidrógeno. Con los óxidos de estos metales, forma esos mismos aniones y agua. Con cinc metálico, además, hay ignición.

Se ha informado de reacciones explosivas entre el hidróxido de sodio y nitrato de plata amoniacal caliente, urea, nitrobenzeno, tetrahidroborato de sodio, 1,1,1-tricloroetanol, 1,2,4,5 tetraclorobenceno y circonio metálico.

Con bromo, cloroformo y triclorometano las reacciones son vigorosas o violentas.

La reacción con sosa y tricloroetileno es peligrosa, ya que este último se descompone y genera dicloroacetileno, el cual es inflamable. (Hoja de Seguridad Hidróxido de Sodio, 2010)

## 1.7 SAPONIFICACIÓN

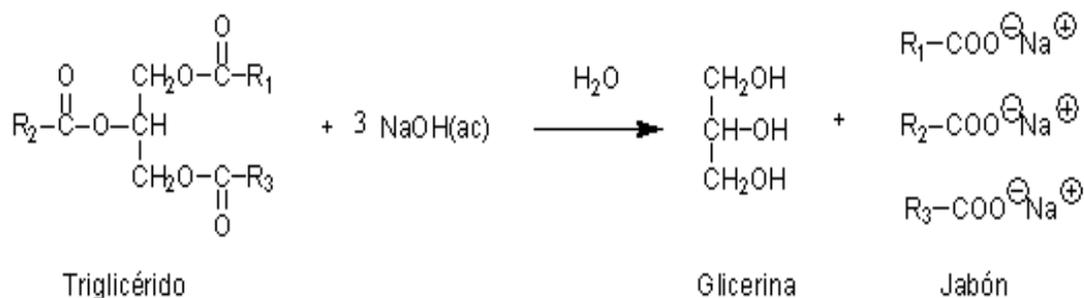
La saponificación (del latín *saponis*, jabón) o "fabricación de jabón".

La saponificación es la hidrólisis con catálisis básica de grasas (ácidos grasos saturados) y aceites (ácidos grasos insaturados) para producir jabón. Los aceites vegetales y las grasas animales son triglicéridos (ésteres de glicerina con ácidos grasos) y al ser tratados con una base fuerte como sosa (NaOH) o potasa (KOH) se saponifican, es decir se produce el jabón (sal del ácido graso) y la glicerina (glicerol).

La reacción química que se efectúa en la fabricación de jabón se puede representar en forma general como sigue:

FIGURA I – 3

### EJEMPLO DE SAPONIFICACIÓN DE UN TRIGLICÉRIDO



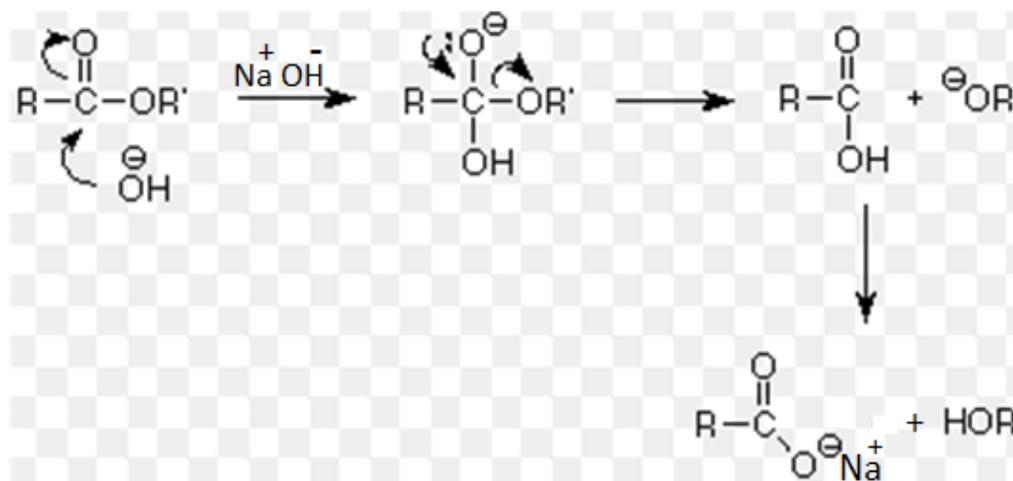
Los aceites vegetales están constituidos principalmente por triglicéridos, los cuales son moléculas formadas, de la esterificación de la glicerina con tres moléculas de ácidos grasos.

Los grupos sustituyentes R1, R2, R3 unidos al grupo funcional éster, son cadenas hidrocarbonadas correspondientes a los ácidos grasos. La composición de un aceite se puede expresar en función de sus triglicéridos constituyentes o de su perfil de ácidos grasos. La primera opción brinda información estructural más detallada, ya que permite identificar, además del tipo de ácidos grasos presentes, su forma de distribución en las tres posiciones posibles. (Guerra D., 2014)

### 1.7.1 MECANISMO DE LA REACCIÓN DE SAPONIFICACIÓN

Se muestra a continuación una reacción de saponificación detallada:

**FIGURA I – 4**  
**REACCIÓN DE SAPONIFICACIÓN DETALLADA**



Fuente: Saponificación detallada, 2012

El mecanismo de reacción requiere de un triglicérido y de un hidróxido libre. El hidróxido libre ataca a un carbono primario y se enlaza con él, robándole un par de electrones al enlace carbono-oxígeno. Esto crea a una molécula altamente inestable, que rápidamente expelle a una molécula de glicerol y renueva el doble de enlace de carbono-oxígeno. (Saponificación detallada, 2012)

La saponificación consta de dos etapas: la descomposición de los ingredientes en sus partes útiles y la reacción de estas para producir el jabón.

Las grasas y los aceites se componen de triglicéridos; y es necesario que se descomponga en ácidos grasos y glicerol. Los ácidos grasos son un elemento primordial en el proceso de elaboración de jabón duro, en cambio el glicerol aunque es útil no es fundamental.

### **1.7.2 TABLAS DE SAPONIFICACIÓN**

El valor o índice de saponificación (SAP) de un aceite o grasa determinados es la cantidad de hidróxido potásico, en miligramos necesaria para saponificar 1 g de aceite o grasa.

Para calcular la cantidad de hidróxido sódico, necesario para saponificar ese aceite o grasa hay que calcular, en primer lugar, la cantidad precisa de hidróxido potásico. El índice de saponificación se multiplica por el factor 0,71 para obtener el número necesario de miligramos de NaOH. (Fuentes – Nuñez, 2010)

Cada aceite o grasa tiene un valor SAP distinto. Por lo tanto, para saponificar distintos aceites y grasas se necesitan cantidades diferentes de hidróxido potásico y, por consiguiente, de hidróxido sódico. (Fuentes – Nuñez, 2010)

La tabla I – 10 muestra el valor del índice de saponificación de algunos aceites y grasas expresados tanto en miligramos de hidróxido de sodio como en miligramos de hidróxido de potasio necesaria para que ocurra la saponificación.

**TABLA I – 10**  
**TABLAS DE ÍNDICE DE SAPONIFICACIÓN DE ACEITES Y GRASAS**

<i>Grasa o aceite</i>	<i>Valor IS KOH</i>	<i>Valor IS NaOH</i>
Aceite de aguacate	187,50	133,69
Aceite de albaricoque	195,00	139,04
Aceite de avellana	195,00	139,04
Aceite de cacahuete	192,10	136,97
Aceite de cáñamo	192,80	137,47
Aceite de cártamo	192,00	136,90
Aceite de coco	268,00	191,09
Aceite de germen de trigo	185,00	131,91
Aceite de maíz	192,00	136,90
Aceite de oliva	189,70	135,26
Aceite de palma	199,10	141,96
Aceite de palmiste	219,90	156,79
Aceite de ricino	180,30	128,56
Aceite de semilla de algodón	194,00	138,32
Aceite de semilla de girasol	188,70	134,55
Aceite de sésamo	187,90	133,98
Aceite de soja	190,60	135,90
Aceite de pepita de uva	181,00	129,06
Lanolina	106,00	75,58
Manteca de cacao	193,80	138,18
Manteca de cerdo	194,60	138,75
Sebo de vaca	197,00	140,46

Fuente: (jabonesdecasa.com)

Cuando se trabaje con una mezcla de grasas o aceites se debe determinar el valor del índice de saponificación de la mezcla, para lo cual se debe conocer el valor SAP de cada grasa o aceite, así como el porcentaje de éstos que intervienen en la mezcla. Se debe multiplicar el peso total de las grasas o aceites por el valor SAP combinado para calcular la cantidad necesaria de hidróxido potásico, luego para calcular la cantidad de hidróxido de sodio total de la mezcla se debe multiplicar por el factor 0,71. (Fuentes – Nuñez, 2010)

## **1.8 MÉTODOS DE OBTENCIÓN DEL JABÓN**

Los métodos más comunes para la elaboración del jabón duro a partir de aceite comestible usado son dos: al frío (a temperatura ambiente) o al calor (con una temperatura de 40°C - 50 °C). (Borras W., 2014)

### **1.8.1 REACCIÓN EN FRÍO**

El método al frío es el más sencillo se suele hacer con hidróxido sódico y se obtienen jabones duros; en el proceso de saponificación cuando mezclamos la solución de soda con los aceites y mientras dura la reacción química se produce calor, este será suficiente para que se forme el jabón.

Otra característica importante de estos jabones es que durante el proceso de saponificación no se pierde la glicerina que forma parte de las grasas, como ocurre en los procesos industriales donde la glicerina es separada para venderla aparte. También al realizarlo sin someter a los aceites a una alta temperatura, estos conservan todas sus propiedades naturales. Además podemos añadir fácilmente otros aceites y aditivos durante el proceso.

El jabón que se obtiene con el método al frío necesita de tiempo para su maduración de aproximadamente cuatro semanas; durante este tiempo la reacción de saponificación se completa, por lo que el jabón va adquiriendo un pH menos básico.

También pierde el exceso de agua y el jabón se va endureciendo. La reacción en frío más popular es la obtención de jabón a partir de los aceites comestibles usados de uso doméstico, proveniente principalmente de frituras. Este método en frío se suele usar más para la elaboración artesanal y casera de jabones duros. (García M., 2011)

Las variables de control que se toman en cuenta en este tipo de reacción son: la temperatura del aceite y temperatura del hidróxido que deben ser iguales, generalmente se utilizan concentraciones bajas. (Nutribiota, 2009)

### **1.8.2 REACCIÓN EN CALIENTE**

Se denomina proceso en caliente al proceso de fabricación del jabón que implica una fuente de calor externa. Consiste en tener el producto durante una hora o 2 horas entre 40°C - 50°C, bien en horno o al baño maría para acelerar la reacción química. De esta forma se consigue que la saponificación se complete en un tiempo más breve. Una ventaja de este método es poder añadir aceites esenciales y colorantes después del proceso de saponificación pero cuando el jabón no está sólido. De esta forma preservamos éstos componentes del pH básico del proceso de saponificación y que podría alterar su composición. (García M., 2011).

Las variables que se controlan en este proceso son: La temperatura, pH, el índice de saponificación, el tiempo de reacción. (Jurado E., 2010)

A continuación se muestra un resumen de las ventajas y desventajas de los 2 métodos de elaboración del jabón duro.

**TABLA I – 11**  
**VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS MÉTODOS DE ELABORACIÓN DE**  
**JABÓN DURO**

<i>Método</i>	<i>Ventajas</i>	<i>Desventajas</i>
<b><i>Reacción en frío</i></b> <b><i>(T ambiente )</i></b>	El proceso es más sencillo. Aprovecha el calor emitido por la reacción química del álcali. Conservan todos los nutrientes.	Necesita tiempo para su maduración.
<b><i>Reacción en caliente</i></b> <b><i>( T 40°C – 50 °C)</i></b>	No requieren tiempo de reposo para su uso. Se puede acelerar la reacción química para que se complete en menor tiempo. Se puede añadir aceites esenciales y colorantes cuando el jabón todavía está caliente. La mayoría de los jabones comerciales usan este proceso.	Requiere de una fuente externa de calor.  Necesita infraestructura más costosa.

Fuente: Elaboración propia

### **1.9 SELECCIÓN DEL PROCESO PARA OBTENCIÓN DE JABÓN DURO**

Para la selección del método de elaboración de jabón duro, se considera las ventajas y desventajas de los dos métodos: Reacción en frío y Reacción en caliente.

En la tabla I – 11 se muestra el resumen de las ventajas y desventajas de los diferentes métodos de elaboración de jabón duro, para poder realizar la matriz de selección de proceso. Se asigna una calificación a cada factor en la selección del tipo de proceso de acuerdo a una escala predeterminada de cero a diez.

En la tabla I - 12 y la tabla I - 13 se observara las calificaciones ponderadas que permitirá seleccionar el proceso, el que acumule el mayor puntaje.

**TABLA I – 12**  
**MATRIZ DE DECISIÓN PARA SELECCIÓN DE PROCESO**

<i>Parámetros</i>	<i>Selección del tipo de proceso para la elaboración de jabón duro</i>				
	<i>Valor %</i>	<i>Reacción en caliente</i>		<i>Reacción en frío</i>	
		<i>Calificación</i>	<i>Ponderado</i>	<i>Calificación</i>	<i>Ponderado</i>
Aplicable a la materia prima	0,4	8	3,2	8	3,2
Tiempo de duración	0,15	6	0,9	4	0,6
Costo	0,15	5	0,75	6	0,9
Calidad del jabón elaborado	0,3	7	2,1	4	1,2
<b>Total</b>	1		<b><u>6,95</u></b>		5,9

Fuente: Elaboración propia

**TABLA I – 13**  
**ESCALA DE CALIFICACIÓN POR PUNTUACIÓN DEL 1 AL 10**

<b>Escala de puntuación</b>	<b>Puntuación</b>
<b>Excelente</b>	10
<b>Muy bueno</b>	<u>7</u>
<b>Buena considerable</b>	5
<b>Regular</b>	3
<b>Mala</b>	1

Fuente: Elaboración propia

Según los resultados de la matriz de decisión, el método más conveniente para la elaboración de jabón duro es por el método de **Reacción en Caliente**, porque no se necesita esperar un tiempo para su uso; el costo de inversión no es muy alto y la

calidad del jabón duro es aceptable, obteniendo este método un rango de MUY BUENO de acuerdo a la escala de calificación.

### **1.10 MODO DE OPERACIÓN**

El modo de operación de cualquier planta o instalación, se basa principalmente en el funcionamiento del reactor químico, que es el núcleo del proceso.

El reactor es el equipo principal de la mayoría de procesos químicos en la industria, y la elección correcta del tipo a utilizar, puede mejorar realmente la seguridad del proceso. Algunos factores como el tamaño de la planta (producción anual), el capital del que se dispone y la complejidad relativa, entre otros, influyen en la selección del modo de operación de la planta.

#### **1.10.1 PROCESO CONTINUO**

Los típicos reactores continuos son recipientes agitados, ya sea de modo simple o en cascada, con tuberías de flujo de descarga. En estos sistemas todos los reactivos son continuamente cargados al reactor y los productos son continuamente descargados.

Los reactores continuos se caracterizan por trabajar en condiciones estacionarias, en las que tanto el calor generado como la composición permanecen constantes durante la operación.

#### **1.10.2 PROCESO DISCONTINUO (BATCH)**

Un reactor por lotes es un recipiente agitado en el cual los reactivos son precargados y que se vacía cuando la reacción se ha completado.

La ventaja clave de este tipo de proceso es la flexibilidad. Por eso se utilizan mayoritariamente en la industria química, alimentaria o farmacéutica, donde es muy importante ofrecer una gran variedad de productos e introducir otros nuevos muy rápidamente, ya que estos sectores industriales operan en mercados altamente competitivos.

En los reactores discontinuos, todos los reactivos son cargados inicialmente en el reactor y la reacción continúa hasta completarse. Se caracterizan por trabajar en

condiciones no estacionarias; es decir, que durante la operación la composición y la generación de calor cambian.

### **1.10.3 ELECCIÓN DEL REACTOR**

La elección del tipo de reactor debe de hacerse con el objetivo de evitar reacciones peligrosas no deseadas, maximizando la selectividad (rendimiento) del producto deseado y alcanzando una velocidad de producción elevada. En general, para producciones pequeñas, lo más adecuado es utilizar un reactor discontinuo, como es el caso.

### **1.10.4 ALTERNATIVA SELECCIONADA**

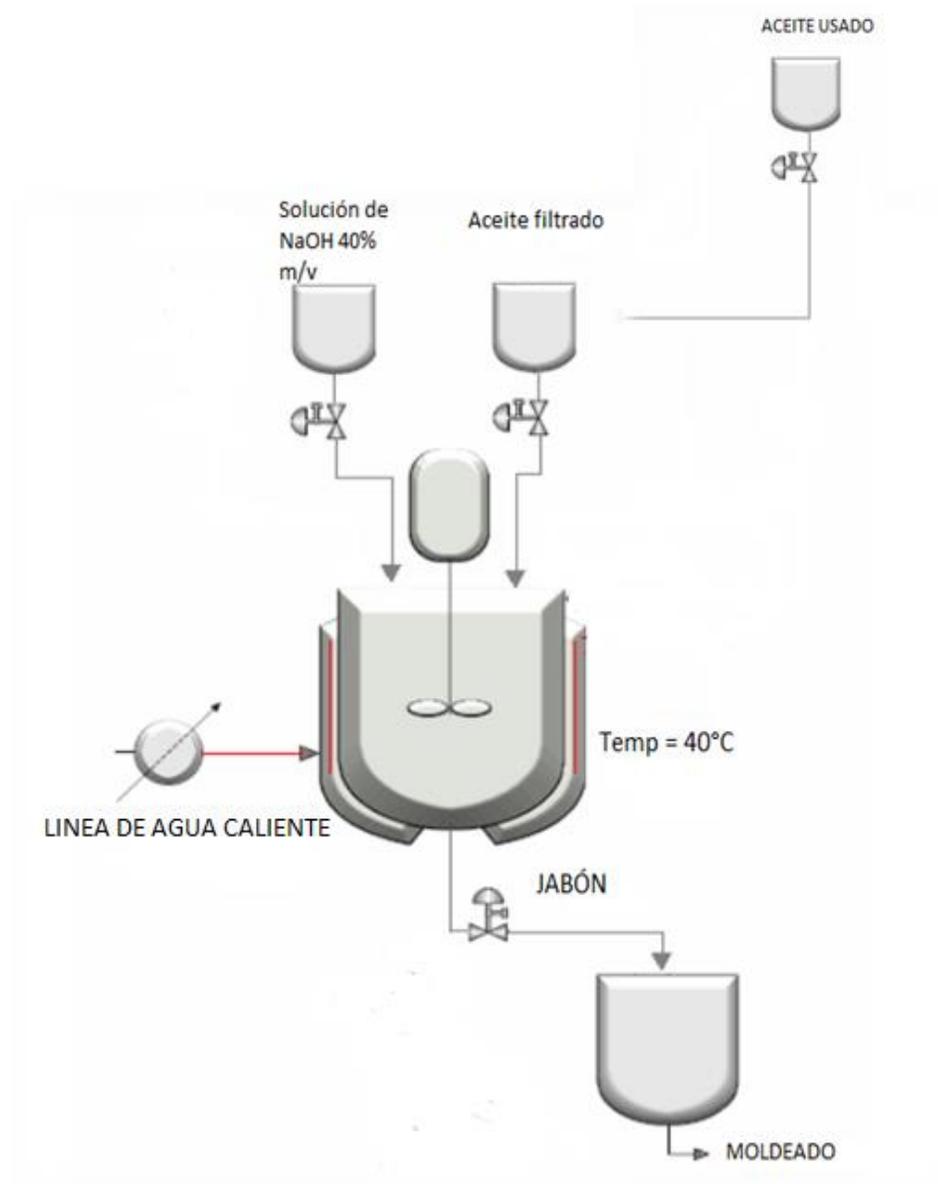
Una vez expuestas todas las posibles alternativas, dependiendo de factores tan importantes, como la materia prima de partida, el tipo de producto a obtener, la elección del modo de operación, se ha considerado que la alternativa más apropiada es:

Proceso que opera en discontinuo (Batch) y pueden distinguirse claramente tres etapas diferenciadas:

1. Purificación o filtración de los Aceites usados: limpieza y acondicionamiento de los aceites para su posterior conversión en jabón duro.
2. Saponificación: reacción de los aceites con la disolución alcalina para obtener el jabón duro.
3. Moldeado y secado del jabón duro.

**Nota:** Purificación en fase final: Como en la etapa de filtración se obtiene un aceite libre de impurezas, no es necesaria la purificación en este proceso; además de que el jabón obtenido será conformado por el jabón y una pequeña cantidad de glicerina que se forma en el proceso de elaboración, no siendo necesaria la recuperación, porque no se destinará como subproducto.

**FIGURA I – 5**  
**PROCESO DISCONTINUO (BATCH)**



Fuente: Elaboración propia

## 1.11 VELOCIDAD DE REACCIÓN

La velocidad de reacción es una medida de la rapidez con que se consume un reactivo o se forma producto. En otras palabras, es una medida de la cantidad de sustancia que se transforma en la unidad de tiempo.

En su forma más simple deseamos conocer cómo cambian con el tiempo las concentraciones de los reactantes y cómo influyen las condiciones termodinámicas en la velocidad de reacción.

La ecuación cinética y sus propiedades son el fruto directo de la observación experimental.

La experimentación demuestra que la velocidad de muchas reacciones químicas, pero no todas, se puede expresar como una ecuación algebraica en la concentración de algunos o todos sus reactantes:

$$v = k[A]^\alpha$$

Donde:

- K es la constante de velocidad o constante cinética, dependiente de la temperatura y la presión
- ( $\alpha$ ) representa el orden parcial de la reacción, normalmente números enteros o fraccionarios, que se determinan experimentalmente y que no tiene por qué mantener relación alguna con los coeficientes estequiométrico.

El motivo por el que la ecuación cinética no se ajusta normalmente a la estequiometría de la reacción es que la mayoría de procesos químicos ocurren realmente a través de una sucesión compleja de etapas que no quedan realmente reflejadas en la ecuación química global.

### 1.11.1 DETERMINACIÓN DE LA CINÉTICA DE SAPONIFICACIÓN

Una ecuación cinética caracteriza a la velocidad de reacción y su forma puede provenir de consideraciones teóricas y/o ser el resultado de un procedimiento empírico de ajuste de curvas. En ambos casos, el valor de los coeficientes cinéticos de

la ecuación solamente puede determinarse por vía experimental, ya que en la actualidad resultan inadecuados los modelos de predicción. (Levenspiel, O. 1976)

El reactor es un recipiente en el que reacciona el aceite con el hidróxido de sodio para producir jabón duro. Lo que se pretende determinar es la extensión de la reacción para diversos tiempos, que puede determinarse siguiendo la variación de un determinado componente. En este caso lo que seguiremos es el grado de conversión del producto, a diferentes tiempos; experimentalmente se han empleado métodos químicos de análisis empleados, fueron la determinación del índice de saponificación e índice de acidez, ya que el cociente entre el índice de acidez y saponificación expresa el grado de conversión. (Jurado E., 2010)

El reactor opera isotérmicamente y a volumen constante, el mismo que se tomará como base para la interpretación de los resultados experimentales que proceden de las experiencias efectuadas en estas condiciones.

Para analizar los datos cinéticos se emplean dos métodos: el integral y el diferencial. En el método integral seleccionamos una forma de ecuación cinética. Una vez integrada esta ecuación, de su forma se deducen las coordenadas que han de tomarse para la representación del tiempo frente a una función de la concentración sea una recta. Si los datos experimentales se distribuyen sobre una recta decimos que es satisfactoria la ecuación cinética seleccionada.

En el método diferencial ensayamos directamente el ajuste de la expresión cinética a los datos, sin integración alguna. Sin embargo, como esta expresión es diferencial, antes de intentar el procedimiento de ajuste hemos de calcular los valores de  $(1/V)(dN/dt)$  a partir de los datos.

Cada uno de estos métodos presenta ventajas y desventajas específicas. El método integral es fácil de aplicar y está recomendado cuando se ensayan mecanismos específicos o expresiones cinéticas relativamente sencillas, o cuando los datos están tan dispersos que no pueden calcularse con suficiente exactitud las derivadas

necesarias para aplicar el método diferencial. El método diferencial es útil en casos más complicados, pero requiere más exactitud o mayor cantidad de datos.

El método integral puede ensayar solamente el mecanismo de la forma cinética elegidos; el método diferencial puede emplearse para deducir o desarrollar una ecuación cinética que se ajuste a los datos. (Levenspiel, O. 1976)

Los datos directos obtenidos en experimentos en reactores de tipo Batch son usualmente de forma integrada. El modelo cinético o ecuación de velocidad se obtiene de los datos de  $C_A$  (concentración del componente A) en función de  $t$  (tiempo de saponificación), ya sea por ajuste de ecuaciones cinéticas integradas a los datos o por diferenciación de los datos directos de  $C_A$  en función de  $t$  para obtener datos de velocidad de reacción en función de la concentración. La diferencia se puede llevar a cabo en forma gráfica o analítica.

El método que será utilizado para determinar la cinética de saponificación es el método diferencial, debido a que es muy práctico y preciso para estos casos cuando la reacción y la integración son complejas y ofrece resultados más confiables ya que son datos reales de reacción.

### **1.12 REQUERIMIENTOS DE CALIDAD DEL PRODUCTO TERMINADO**

Con el fin de mantener un adecuado control en la producción de jabón, se requieren ciertos parámetros, dentro de los cuales se asegurará una buena calidad constante. Esto se podrá lograr mediante ciertos análisis a los que se deberá someter el producto para verificar su calidad. (Varón E., 2008)

**Índice de saponificación:** Tiene como objeto saber si la materia grasa no se ha tratado químicamente. Este índice se designa con el número de miligramos de hidróxido de potasio que se contiene en un gramo de grasa.

**Contenido de humedad:** Es la relación que existe entre el peso de agua contenida en la muestra en estado natural y el peso de la muestra después de ser secada ya sea en un horno a una temperatura entre los  $105^{\circ}$ - $130^{\circ}$ C o a temperatura ambiente. Se

expresa de forma de porcentaje, puede variar desde cero cuando está perfectamente seco hasta un máximo determinado que no necesariamente es el 100%.

**pH:** Abreviatura de **Potencial Hidrógeno**, es un parámetro muy usado en química para medir el grado de acidez o alcalinidad de las sustancias. Esto tiene enorme importancia en muchos procesos tanto químicos como biológicos. Es un factor clave para que muchas reacciones se hagan o no. En la escala de pH de sustancias, pueden ser de tres tipos: ácida, alcalina y cuando tiene un nivel intermedio entre un parámetro y otro es neutro.

**Dureza:** Es una propiedad física de los materiales que consiste básicamente en la firme unión de las moléculas que la conforman, impidiendo así que cualquier otro objeto o sustancia lo parta, lo penetre, lo corte o lo deforme.

De acuerdo a los resultados obtenidos de los jabones comerciales, los valores principales a los que se sujetará el jabón que se elabore son:

**TABLA I – 14**  
**PARAMETROS DE LOS VALORES DE JABONES COMERCIALES**

<i>Parámetros de Jabones Comerciales</i>		
<i>Detalle</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>
Índice de Saponificación	20	mg KOH/g de aceite
Humedad	10	%
pH	9 - 11	-
Dureza	1,25 - 3	-

Fuente: Elaboración propia

**CAPÍTULO II**  
**PARTE EXPERIMENTAL**

## CAPÍTULO II

### PARTE EXPERIMENTAL

#### 2.1 INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en el Laboratorio de Operaciones Unitarias perteneciente al Departamento de Procesos de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho”.

Los datos experimentales y parámetros que se obtengan de la materia prima, el aceite usado, servirán como guía y como datos iniciales para la elaboración de jabón duro.

#### 2.2 RECOLECCIÓN DE LA MATERIA PRIMA

La materia prima fue recolectada de diferentes locales de la ciudad de Tarija (los aceites que se utilizan en estos locales son aceites mezcla de soya – girasol, que contienen más del 80% en ácidos grasos insaturados), se recolectó 100 litros de aceite usado de los cuales solo se utilizó 5 litros como muestra para realizar las pruebas de laboratorio y posterior elaboración de jabón duro.

#### FOTO 2 – 1

#### ACEITE USADO



Fuente: Elaboración propia

## **2.3 CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA**

Después de la recolección de los 100 lt de aceite usado se procedió a su caracterización, para determinar física y químicamente las características en las cuales se encuentra este desecho, para ser utilizados en la elaboración de jabón duro.

### **2.3.1 DESCRIPCIÓN FÍSICA DEL ACEITE**

Las características consideradas en la descripción física del aceite usado y los procedimientos empleados se muestran a continuación:

- Color: Por simple inspección visual se determina el color del aceite usado, café oscuro.
- Olor: En un vaso de precipitado se coloca 25 ml de aceite usado y se acerca a la nariz y se siente un ligero aroma característico a papa y pollo frito.
- Sabor: Característico a papa y pollo frito.
- Sedimentos o impurezas: Por simple inspección visual se determina sedimentos e impurezas (restos de pollo y materia orgánica) en el fondo del vaso de precipitado.

Todos estos resultados se muestran resumidos en la tabla III – 1 del capítulo III: Resultados y Discusión.

### **2.3.2 DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE SAPONIFICACIÓN**

Para la determinación del índice de saponificación del jabón se procedió a analizar de acuerdo a la Norma Boliviana utilizada como referencia es NB 34005, Determinación del índice de saponificación. (Ver anexo 2)

El procedimiento para la determinación es el siguiente:

- Pesar 2 a 5 gr de aceite usado en un Erlenmeyer de 200 ml.
- Agregar 25 ml de solución alcohólica de hidróxido de potasio.
- Calentar a ebullición en baño maría de 30 min a 60 min con refrigerante a reflujo.

- Terminado el tiempo en el baño maría, se añade 1ml de fenolftaleína al 1% al erlenmeyer.
- Valorar en caliente con ácido clorhídrico 0,5 N, hasta la desaparición de la coloración rosada.
- Determinar en blanco empleando cantidades iguales de reactivo y operando de la misma manera que para la muestra en análisis.

$$I_{sap} = \frac{56,1 (V_1 - V_2)N}{m}$$

Donde:

$I_{sap}$  = Índice de Saponificación

$V_1$  = Volumen de ácido clorhídrico 0,5 N (prueba en blanco)

$V_2$  = Volumen de ácido clorhídrico 0,5 N (valoración de la muestra)

N = Normalidad del ácido clorhídrico

m = Masa de aceite usado en gramos

56,1 = Peso molecular del hidróxido de potasio

### FOTO 2 – 2

### DETERMINACIÓN ÍNDICE DE SAPONIFICACIÓN



Fuente: Elaboración propia

### 2.3.3 DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE ACIDEZ E ÍNDICE DE PERÓXIDO

Para determinar el Índice de Acidez e Índice de Peróxido se llevó una muestra significativa al Laboratorio CEANID (Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo) (Ver anexo 5).

La Norma Boliviana utilizada como referencia es NB 34008, Determinación del índice de peróxido. (Ver anexo 2)

La Norma Boliviana utilizada como referencia es NB 34004, Determinación del índice de acidez. (Ver anexo 2)

### 2.4 CARACTERIZACIÓN DE DIFERENTES JABONES DUROS EXISTENTES EN EL MERCADO

Se detalla a continuación las marcas de 2 de los jabones duros que se encuentran en el mercado Tarijeño:

MARCA
<b>Jabón OSO</b> elaborado con Borra (desecho del proceso de neutralización del aceite) por Industrias de Aceite S.A (FINO), Santa Cruz
<b>Jabón COSQUIN</b> elaborado a base de Sebo por Juan y Félix Pasquale, SRL Argentina, Córdoba

Fuente: Elaboración propia

Se determinaron sus características de acuerdo a los siguientes análisis: Índice de Saponificación, Porcentaje de Humedad, pH y Dureza.

#### 2.4.1 ÍNDICE DE SAPONIFICACIÓN

Para la determinación del índice de saponificación del jabón se procedió a analizar de la misma manera que para la determinación de la materia prima, mediante el método volumétrico con solución alcohólica de hidróxido de potasio y titulada con HCl 0,5

N. El valor obtenido se encuentra en la tabla III – 7 del capítulo III Resultados y Discusión.

#### **2.4.2 PORCENTAJE DE HUMEDAD**

Para la determinación del porcentaje de humedad se empleó el secador infrarrojo SARTORIUS MA 100. Se procedió de la siguiente manera:

- Se programó en el secador infrarrojo para que determine el contenido de humedad del jabón duro.
- Se pesó en la balanza de 3 – 5 gramos de muestra.
- Se inició el proceso.
- Se registró el dato del contenido de humedad toda vez que la balanza concluía con la determinación.

El valor obtenido se encuentra en la tabla III – 7 del capítulo III Resultados y Discusión.

#### **2.4.3 pH**

Para la determinación del pH se empleó el microprocesor pHmeter HANNA. Se procedió de la siguiente manera:

- Se calibró el pHmetro con tampones entre los valores de 4,01 – 7,00
- Se pesó 1 gramo de muestra, se adicionó 25 ml de agua y se agitó.
- Se registró los datos de todas las lecturas que se hicieron.

El valor obtenido se encuentra en la tabla III – 7 del capítulo III Resultados y Discusión.

#### **2.4.4 Dureza**

La medición de la dureza se obtiene según la medida por resistencia la corte con un alambre. Se procedió de la siguiente manera:

- Se considera un ensayo no destructivo

- Se aplica una fuerza sobre el jabón elaborado, que produce una huella sobre el material. En función del grado de profundidad o tamaño de la huella, obtendremos la dureza.

El valor obtenido se encuentra en la tabla III – 7 del capítulo III Resultados y Discusión.

## **2.5 DISEÑO EXPERIMENTAL**

El diseño experimental tiene como objetivo, definir el arreglo de los tratamientos sobre las unidades experimentales, de tal modo que se obtengan estimaciones de los contrastes de interés para el investigador, con la mayor precisión posible. El diseño de tratamientos, por otra parte, es el aspecto que se refiere al proyecto de las combinaciones de tratamientos, cuando se examina el efecto de dos o más factores, sobre una característica estudio.

El análisis estadístico permite el estudio de varias variables en el tiempo y la interpretación de la interacción entre las variables estudiadas, con el propósito de seleccionar las más importantes y significativas.

### **2.5.1 PLANTEAMIENTO DE HIPÓTESIS**

Para llevar a cabo el diseño experimental se tomaron en cuenta las siguientes hipótesis:

- Los niveles de variación, en la temperatura de reacción de saponificación influyen en la variable respuesta del jabón.
- El tiempo de reacción de saponificación influyen en la variable respuesta del jabón.
- La concentración de la solución de hidróxido de sodio utilizada para la reacción de saponificación influye en la variable respuesta del jabón.

### **2.5.2 PASOS PARA REALIZAR EL DISEÑO FACTORIAL**

El diseño factorial comprende los siguientes pasos:

- Elección de las respuestas a medir.
- Elección de las variables objeto de estudio.

- Elección del intervalo de valores para dichas variables.
- Planificación de experimentos.
- Realización de experimentos y recolección de datos.
- Análisis de los datos experimentales.

#### **2.5.2.1 ELECCIÓN DE LA VARIABLE A MEDIR: RESPUESTA**

La variable respuesta más adecuada a medir es el índice de saponificación, medida como el número de miligramos de hidróxido de potasio necesarios para saponificar un gramo de grasa o aceite.

#### **2.5.2.2 ELECCIÓN DE LAS VARIABLES DE OPERACIÓN: FACTORES**

Jurado E. (2010) y Arroyo J. (1998) llegaron a la conclusión de que el problema radica esencialmente en las condiciones de operación y se plantea como una alternativa de solución, la realización de un estudio de las variables involucradas en el proceso, que afectan la etapa de saponificación, para determinar las condiciones más óptimas que permitan obtener un producto competitivo en el mercado.

Las variables identificadas y seleccionadas para este proceso son las siguientes:

- Temperatura
- Tiempo
- Concentración de la solución de hidróxido de sodio

#### **2.5.2.3 ELECCIÓN DE LOS INTERVALOS DE OPERACIÓN PARA CADA UNA DE LAS VARIABLES DE OPERACIÓN: NIVELES**

Las variables que influyen en el proceso son la temperatura, el tiempo y concentración de la solución de hidróxido de sodio, los mismos que fueron seleccionados de acuerdo a pruebas realizadas en el laboratorio. Los intervalos de operación propuestos son los que se muestran a continuación en la tabla II – 1.

**TABLA II – 1**

**PRUEBAS REALIZADAS EN EL LABORATORIO PARA  
DETERMINACIÓN DE VARIABLES**

<i>Parámetros</i>	<i>Unidades</i>	<i>Descripción</i>		<i>Intervalo seleccionado</i>
<b>Temperatura</b>	°C	90°	La mezcla no es Homogénea, no llega a mezclarse el aceite con el hidróxido de sodio.	Nivel Bajo T = 40°C
		80°	La mezcla no cuaja y por mucho que se agita, no llega a agarrar la textura que se necesita, tiene una textura líquida.	
		50°	La mezcla no presenta separación y deja un rastro o “huella” en la superficie.	
		40°	La mezcla no presenta separación y deja un rastro o “huella” en la superficie; al tomar una muestra de la mezcla de jabón esta marca permanece durante unos instantes en la superficie antes de desaparecer.	nivel alto T = 50°C
		25°	La mezcla en 10 minutos agarra la textura deseada, pero la saponificación no es completa.	
<b>Tiempo</b>	min	30 min	De acuerdo a bibliografía se determinó utilizar un tiempo de reacción de 30 min.	Nivel Bajo t = 30 min
		60 min	Se determinó utilizar un tiempo de reacción máximo de 60 min. de acuerdo a experiencias realizadas en bibliografía consultada.	Nivel Alto t = 60 min
<b>Concentración</b>	% m/v	35 % (m/v)	De acuerdo a la bibliografía consultada se necesita concentraciones de NaOH altas para trabajar con aceite usado.	Nivel Bajo 35% (m/v)
		40 % (m/v)	De acuerdo a la bibliografía consultada se necesita concentraciones altas para trabajar con aceite usado, pero no mayores a 50%, porque el jabón sería muy alcalino.	Nivel Alto 40% (m/v)

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la tabla II – 1, se han elegido los intervalos de operación más convenientes para el proceso, los cuales se muestran a continuación:

#### **2.5.2.3.1 TEMPERATURA**

El límite superior se ha fijado en 50°C ya que a una temperatura mayor la mezcla no agarra la textura que se necesita.

El límite inferior se ha fijado en 40°C, temperatura en la que coinciden varios autores de bibliografía consultada. (Jurado E., 2010)

#### **2.5.2.3.2 TIEMPO**

El límite superior se ha fijado en 60 min y el límite inferior en 30 min, estos valores fueron fijados en función a experiencias realizadas en las bibliografías consultadas y pruebas preliminares en laboratorio. (Jurado E., 2010)

#### **2.5.2.3.3 CONCENTRACIÓN DE LA SOLUCIÓN DE HIDRÓXIDO DE SODIO**

Para la concentración de la solución de hidróxido de sodio se ha fijado un límite superior de 40% (m/v) y un límite inferior de 35% (m/v), datos que son muy variados en bibliografía, pero la mayor parte coincide en que se necesita concentraciones altas para trabajar con aceite usado, pero esta concentración no debe sobrepasar el 50% ya que el jabón obtenido será muy alcalino, es por eso que mediante la experimentación, obtendremos la concentración de la solución de hidróxido de sodio correspondiente para la elaboración óptima de jabón duro. (Textos Científicos, 2005)

#### **2.5.2.4 PLANIFICACIÓN DE EXPERIMENTOS**

Un diseño de experimentos es una estrategia experimental constituida por un conjunto de experiencias planificadas en relación con una serie de variables (denominadas factores), de modo que la realización de cada ensayo implica que cada variable toma un valor determinado (nivel) definido por la estructura del diseño. Es fundamental conocer qué variables realmente influyen sobre el sistema analizado y cuantificar su influencia.

Un diseño experimental en el que la variable respuesta se mide para todas las combinaciones posibles de los niveles elegidos de los factores recibe el nombre de diseño factorial. Debido a su amplio uso en el trabajo aplicado, existen varios casos especiales del diseño factorial. Según MONTGOMERY (2002), el más importante de estos casos es el de K factores, cada uno estudiado a tan solo dos niveles, definidos habitualmente por el signo + (nivel alto) y – (nivel bajo) o, en escala modificada, por +1 y -1. En general, el número total de experimentos cuando se tienen K factores es igual a  $2^K$ .

La metodología del diseño de experimentos permite investigar simultáneamente los efectos de todas las variables de interés a través de la realización de un número mínimo de experimentos, repercutiendo en una mayor eficacia y en el ahorro de tiempos y costes.

Para el presente trabajo se realizará el diseño factorial completo  $2^k$  para determinar el número de experimentos elementales.

En la tabla II – 2 se muestra los niveles de variación de las variables del proceso de elaboración del jabón duro, también llamados factores.

El diseño factorial tiene la finalidad de estudiar todas las posibles combinaciones que se pueden dar entre las variables que se someten a prueba.

Las variables o factores a controlar son 3, cada uno con 2 niveles. Para el cual se introdujeron los datos provenientes de los análisis correspondientes de laboratorio.

**TABLA II – 2**  
**NIVELES DE VARIACIÓN DE LOS FACTORES**

<i>FACTORES</i>	<i>NIVEL</i>	
	<i>Bajo</i>	<i>Alto</i>
Temperatura (°C)	40	50
Tiempo de reacción (min)	30	60
Concentración de solución de NaOH (%m/v)	35	40

Fuente: Elaboración propia

Factor A: Temperatura (°C)

Factor B: Tiempo de reacción (min)

Factor C: Concentración de solución de NaOH (%m/v)

El número de experimentos a realizar son:

$$2^K$$

Donde:

2: Número de niveles

K: Número de factores

$$2^3=8$$

Se requiere 8 experimentos elementales cada una con su réplica en total serían 16 experimentos elementales, expresados en el Tabla II – 3 y II – 4.

**TABLA II – 3**  
**DISEÑO FACTORIAL**

<i>N° de Exp.</i>	<i>Temperatura(°C)</i>	<i>Tiempo(min)</i>	<i>Conc. de solución de NaOH (%m/v )</i>	<i>Índice de saponificación mg KOH/g grasa</i>
1	-1	-1	-1	R
2	+1	-1	-1	R
3	-1	+1	-1	R
4	+1	+1	-1	R
5	-1	-1	+1	R
6	+1	-1	+1	R
7	-1	+1	+1	R
8	+1	+1	+1	R

Fuente: Elaboración propia

**R:** Variable Respuesta a Medir

**TABLA II - 4**

### PLAN DE EXPERIMENTACIÓN

<i>Muestras</i>	<i>Temperatura (°C)</i>	<i>Tiempo (min)</i>	<i>Conc. NaOH (%m/v)</i>	<i>Ind.Sap. (mgKOH/g grasa)</i>
1	40	30	35	R
Rep1	40	30	35	R
2	50	30	35	R
Rep2	50	30	35	R
3	40	60	35	R
Rep3	40	60	35	R
4	50	60	35	R
Rep4	50	60	35	R
5	40	30	40	R
Rep5	40	30	40	R
6	50	30	40	R
Rep6	50	30	40	R
7	40	60	40	R
Rep7	40	60	40	R
8	50	60	40	R
Rep8	50	60	40	R

Fuente: Elaboración propia

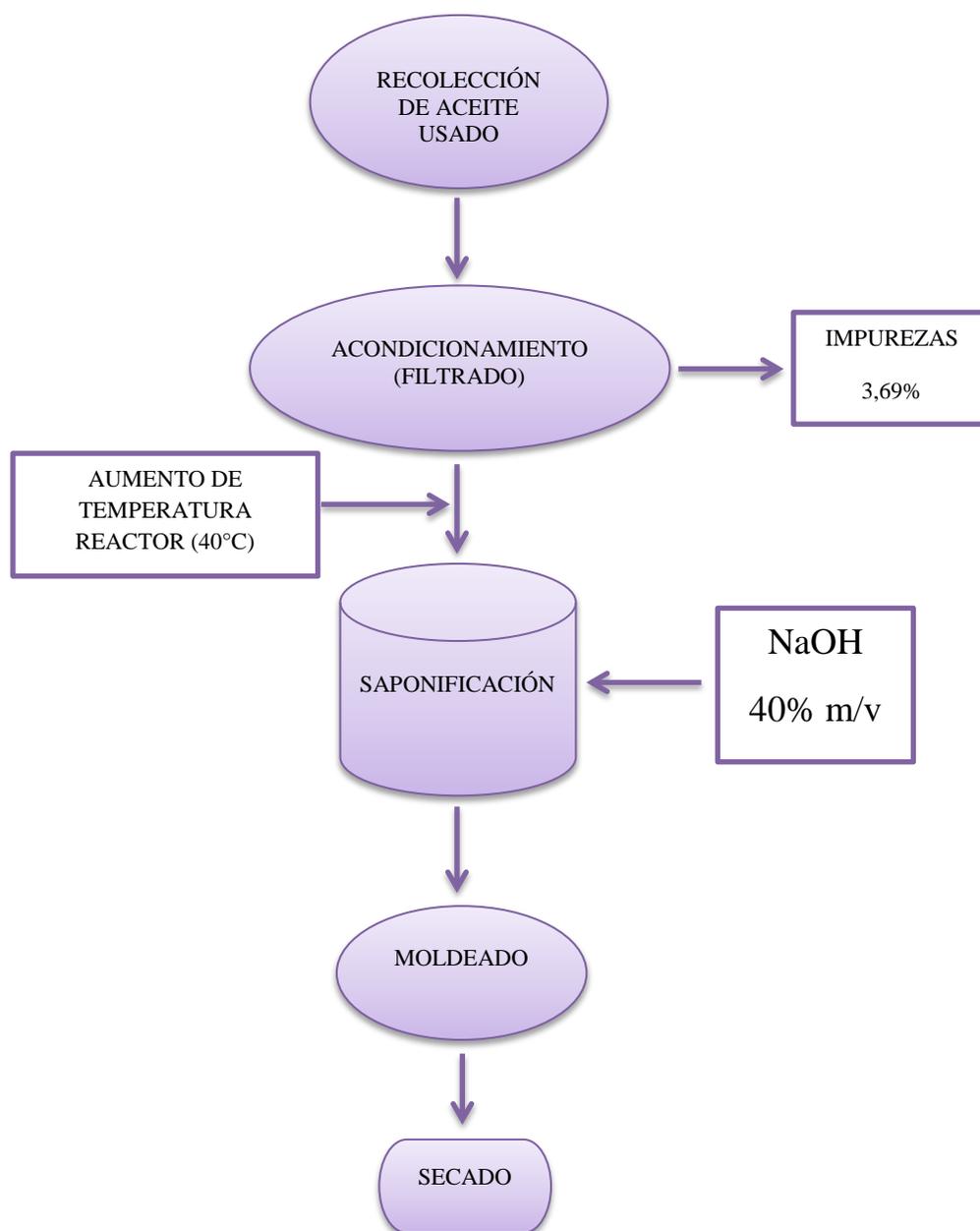
**R:** Variable Respuesta a Medir

## 2.6 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DEL JABÓN DURO

Para la elaboración de jabón duro se realizó el procedimiento que se describe en el diagrama de flujo.

### FIGURA II - 1

#### DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE JABÓN DURO



Fuente: Elaboración propia

### 2.6.1 PRINCIPALES ETAPAS EN EL PROCESO DE ELABORACIÓN DE LOS JABONES DUROS

El proceso al que debe ser sometido el aceite usado, para la elaboración del jabón duro, puede llevarse a cabo siguiendo cuatro etapas principales: acondicionamiento de la materia prima, etapa de saponificación, secado y moldeado. Siendo la saponificación la etapa determinante del proceso.

El mismo que se presenta en el siguiente diagrama:



### **2.6.1.1 ACONDICIONAMIENTO DE LA MATERIA PRIMA**

El acondicionamiento del aceite usado comprende el siguiente paso:

#### **2.6.1.1.1 FILTRADO**

El acondicionamiento de las materias primas es un conjunto de operaciones, en gran parte de bajo costo y gran efectividad, que consiste en la preparación de las mismas para su uso en el proceso de manufactura y fabricación. Estas operaciones, como limpieza, separación, etc., pueden realizarse de forma conjunta o independiente, con el objeto de eliminar contaminantes o componentes no comestibles, que puedan tener al momento de su recolección, al igual que lograr la uniformidad en cuanto a las características físicas del producto final y de esta forma elevar su calidad.

La materia prima ideal es aquella que se puede procesar para obtener un producto de alta calidad, permitiendo a la vez un procesado de máxima eficacia. Las propiedades exigidas para una materia prima irán variando según al proceso al que serán sometidas.

Utilizando el filtrado al vacío se realizó dicho procedimiento; el acondicionamiento de la materia prima se hizo mediante el proceso de filtrado en caliente, se calentó la muestra a fuego directo a 35°C, ya que el aumento de la temperatura causa una disminución de la viscosidad; empleando un filtro de membranas con papel filtro para

filtración lenta de poros de 2 – 4  $\mu\text{m}$ , el propósito es eliminar impurezas que dañan la calidad del jabón.

**TABLA II – 5**  
**CARACTERÍSTICAS DEL PAPEL FILTRO**

<i>Características del papel filtro</i>		
<i>Detalle</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>
Retención de partículas	2 - 4	$\mu\text{m}$
Gramaje (Densidad superficial )	80	$\text{gr}/\text{m}^2$
Espesor	0,160	mm
Cenizas	0,06	%

Fuente: Distribuidora Sur, Tarija

La cantidad de materia prima (aceite usado) que se utilizó fue de 200 gr; el tiempo de filtración es de 20 minutos aproximadamente.

**FOTO 2 – 3**  
**FILTRACIÓN DEL ACEITE USADO**



Fuente: Elaboración propia

### **2.6.1.2 ETAPA DE SAPONIFICACIÓN**

Se preparó dieciséis soluciones de hidróxido de sodio, muestras correspondientes al diseño factorial, de las mismas se especifican que ocho soluciones de hidróxido de sodio fueron elaboradas a 35% m/v (nivel bajo) y las ocho restantes a 40% m/v (nivel alto). Dentro de las ocho muestras existen las variaciones correspondientes a las temperaturas en dos niveles de 40°C (nivel bajo) y 50°C (nivel alto) y el tiempo en dos niveles de 30 min (nivel bajo) y 60 min (nivel alto).

A continuación se presenta de forma detallada cada una de las pruebas que se realizaron para la elaboración del jabón duro.

**TABLA II – 6**  
**PRUEBAS REALIZADAS PARA LA ELABORACIÓN DEL JABÓN DURO**

<i>Muestras</i>	<i>Temperatura (°C)</i>	<i>Tiempo (min)</i>	<i>Conc. NaOH (%m/v)</i>
1	40	30	35
Rep1	40	30	35
2	50	30	35
Rep2	50	30	35
3	40	60	35
Rep3	40	60	35
4	50	60	35
Rep4	50	60	35
5	40	30	40
Rep5	40	30	40
6	50	30	40
Rep6	50	30	40
7	40	60	40
Rep7	40	60	40
8	50	60	40
Rep8	50	60	40

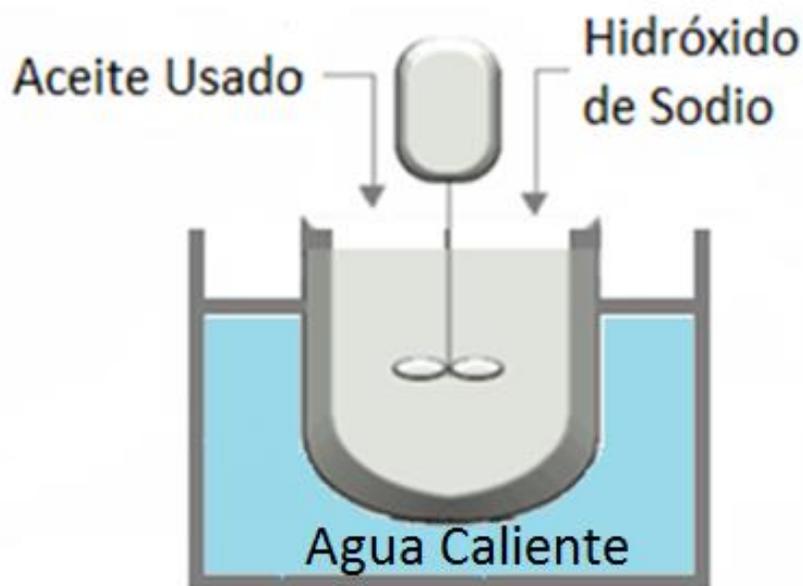
Fuente: Elaboración propia

#### **2.6.1.2.1 DESCRIPCIÓN DE LA ETAPA DE SAPONIFICACIÓN**

Para la etapa de Saponificación se adecuó un baño maría con medidor de temperatura; dentro del baño se colocó un vaso de acero inoxidable de 500 ml de volumen y un agitador para remover la carga a 80 rpm. De acuerdo a nuestro diseño experimental (tabla II – 6), en este reactor se homogenizó por completo 200 gr del aceite usado con

NaOH, variando los volúmenes y la concentración de la solución saponificante 43,6 ml de solución al 40% m/v y 54 ml de solución al 35% m/v; la mezcla debe mantenerse a una temperatura constante de 40°C y 50°C respectivamente y tener agitación constante (80 rpm) durante los tiempos determinados de 30 min y 60 min, hasta que adquiera una consistencia pastosa. La pasta es una mezcla de jabón y glicerina. Transcurrido unos 10 minutos se procede a colocar en moldes para su respectivo secado.

**FIGURA II – 2**  
**ETAPA DE SAPONIFICACIÓN**



Fuente: Elaboración propia

**FOTO 2 – 4**  
**REACTOR BATCH - SAPONIFICACIÓN**



Fuente: Elaboración propia

En la foto 2 – 4 se muestra el reactor batch que se adecuó para la etapa de saponificación del aceite usado en la elaboración del jabón duro.

**FOTO 2 – 5**

### **SAPONIFICACIÓN DEL ACEITE USADO**



Fuente: Elaboración propia

### **2.6.1.3 MOLDEADO Y SECADO**

Una vez terminada la etapa de saponificación se procede a verter la pasta jabonosa en moldes, donde se solidificará por enfriamiento lento.

El secado se realiza al aire libre a temperatura ambiente de 5 a 7 días, porque el proceso exige un secado lento para evitar quebraduras del producto terminado.

**FOTO 2 – 6**  
**MUESTRAS DEL JABÓN DURO OBTENIDO**



Fuente: Elaboración propia

En la foto 2 – 6 se puede observar las distintas muestras de jabón obtenido que se realizaron en el diseño experimental cada una con su réplica.

### **2.7 EQUIPOS, MATERIAL DE LABORATORIO Y REACTIVOS**

En el presente trabajo de investigación se utilizaron los siguientes aparatos o equipos: Balanza Analítica, Baño María, Agitador, Reactor Batch, Filtro de Membranas, pH Metro y Analizador de Humedad Electrónica. Además de material de laboratorio y reactivos. (Ver Anexo 3)

**CAPÍTULO III**  
**DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE LOS**  
**RESULTADOS**

## CAPÍTULO III

### DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

#### 3.1 METODOLOGÍA DE OBTENCIÓN DE RESULTADOS

Durante el desarrollo del presente trabajo de investigación, la metodología usada para la obtención de los resultados experimentales para la obtención de Jabón duro se detalla a continuación:

##### 3.1.1 CARACTERÍSTICAS DE LA MATERIA PRIMA

###### 3.1.1.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

En la tabla III – 1 se presentan los resultados de la caracterización física del aceite usado.

**TABLA III – 1**  
**CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL ACEITE USADO**

<i>Características físicas del aceite usado</i>	
<i>Características</i>	<i>Observaciones</i>
Color	Café oscuro
Olor	Aroma característico a papa y pollo frito
Sabor	Característico a papa y pollo frito
Sedimentos o impurezas	(+) restos de pollo y materia orgánica

Fuente: Elaboración propia

###### 3.1.1.2 ÍNDICE DE SAPONIFICACIÓN, ÍNDICE DE ACIDEZ E ÍNDICE DE PERÓXIDO

Para una correcta determinación del índice de Saponificación se tomaron 5 diferentes muestras del aceite usado como se detalla a continuación:

**TABLA III – 2**  
**ÍNDICE DE SAPONIFICACIÓN ACEITE USADO**

	<i>M</i> <i>Muestra(gr)</i>	<i>V<sub>1</sub> HCl</i> <i>Blanco(ml)</i>	<i>V<sub>2</sub> HCl 0,05</i> <i>N</i> <i>Muestra(ml)</i>	<i>Índice de</i> <i>Saponificación</i> <i>(mgKOH/gr de</i> <i>aceite)</i>	<i>Promedio</i> <i>(mgKOH/gr</i> <i>de aceite)</i>
1	2.012	32.575	17.95	201,45	203,37
2	2.015	32.575	17.45	209,89	
3	2.007	32.575	18.15	200,98	
4	2.014	32.575	17.85	204,44	
5	2.009	32.575	18.20	200,08	

Fuente: Datos experimentales obtenidos en Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU)

Se obtuvo como índice de Saponificación promedio = 203,37 mgKOH/gr de aceite.

Los resultados sobre el Índice de Acidez e Índice de Peróxido de la muestra que se llevó al Laboratorio CEANID (Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo) (Ver anexo 5) se tienen los siguientes resultados:

**TABLA III – 3**  
**ÍNDICE DE ACIDEZ ACEITE USADO**

<i>Parámetro</i>	<i>Técnica</i>	<i>Unidad</i>	<i>Muestra 1</i>
Acidez (ac. oleico)	NB 34004	%	2,13

Fuente: CEANID (Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo).

**TABLA III – 4**  
**ÍNDICE DE PERÓXIDO ACEITE USADO**

<i>Parámetro</i>	<i>Técnica</i>	<i>Unidad</i>	<i>Muestra 1</i>
Índice de peróxidos	NB 34008	meqO <sub>2</sub> /kg	19,77

Fuente: CEANID (Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo).

Se muestra a continuación la Tabla III - 5 el resumen de los datos obtenidos en la caracterización de la materia prima.

**TABLA III – 5**  
**DATOS OBTENIDOS CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA**

<i>Detalle</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>
Índice de Saponificación	203,37	mgKOH/gr de aceite
Índice de Acidez	2,13	%
Índice de Peróxidos	19,77	meqO <sub>2</sub> /kg
Densidad	0,9193	g/ml

Fuente: Elaboración propia

**TABLA III – 6**  
**COMPARACIÓN ENTRE ACEITE VEGETAL USADO Y ACEITE**  
**VEGETAL NUEVO**

<i>Detalle</i>	<i>Aceite Vegetal</i>	<i>Aceite Usado</i>	<i>Unidad</i>
Índice de Saponificación	195,0	203,37	mgKOH/gr de aceite
Índice de Acidez	0,07	2,13	%
Índice de Peróxidos	6,0	19,77	meqO <sub>2</sub> /kg
Densidad	0,925	0,9193	g/ml
Color	2R30A (Amarillo ámbar)	Café oscuro	Visual

Fuente: Elaboración propia

Con los análisis realizados se puede apreciar en la tabla III – 6 las variaciones en las características fisicoquímicas entre el aceite usado y el aceite vegetal nuevo.

### **3.2 RESULTADOS OBTENIDOS DE LA CARACTERIZACIÓN DE LOS JABONES EXISTENTES EN EL MERCADO**

En la tabla III – 7 se muestra el resumen de las propiedades físicas y químicas de los jabones existentes en el mercado. Las propiedades como la forma, el color y la textura se determinaron de manera visual:

**TABLA III – 7**  
**PROPIEDADES FÍSICAS JABONES DUROS EXISTENTES EN EL MERCADO**

<i>Propiedades Físicas de Jabones Duros existentes en el Mercado</i>		
<i>Propiedad Evaluada</i>	<i>Oso</i>	<i>Cosquín</i>
Forma	Barra	Barra
Color	Verde	Verde
ph	10,80	10,74
Textura	Suave	Suave
Humedad	5,83	4,56
Índice de saponificación	20,09	18,45
Dureza <sup>a</sup>	1,25	1,25

a: Medida de resistencia al corte con alambre

Fuente: Elaboración propia

### 3.3 RESULTADOS OBTENIDOS DE LAS PRINCIPALES ETAPAS EN EL PROCESO DE ELABORACIÓN DE LOS JABONES DUROS

#### 3.3.1 ACONDICIONAMIENTO DE LA MATERIA PRIMA

##### 3.3.1.1 FILTRADO

Para obtener el porcentaje de impurezas, se utiliza la fórmula que se detalla a continuación; en la tabla III – 8 se muestran los datos obtenidos del proceso de filtrado:

$$\%Imp = \frac{m_{impurezas}}{m_{aceite\ usado}} * 100$$

Dónde:

$$m_{aceite\ usado} = 200\ gr$$

$$m_{impurezas} = masa\ en\ gramos$$

**TABLA III – 8**  
**DATOS OBTENIDOS FILTRACIÓN AL VACÍO**

<i>N° de Filtraciones</i>	<i>Masa papel filtro seco (gr)</i>	<i>Masa papel filtro + Impurezas (gr)</i>	<i>Masa Impurezas (gr)</i>	<i>% Impurezas</i>
<b>1</b>	4,634	12,036	7,402	3,70
<b>2</b>	4,730	12,102	7,372	3,69
<b>3</b>	4,735	12,096	7,361	3,68
<b>4</b>	4,658	12,084	7,426	3,71
<b>5</b>	4,640	12,050	7,410	3,71
<b>6</b>	4,675	12,109	7,434	3,72
<b>7</b>	4,721	12,080	7,359	3,68
<b>8</b>	4,705	12,063	7,358	3,68
<b>9</b>	4,638	12,052	7,414	3,71
<b>10</b>	4,727	12,109	7,382	3,69
<b>11</b>	4,705	12,066	7,361	3,68
<b>12</b>	4,651	12,078	7,427	3,71
<b>13</b>	4,700	12,090	7,390	3,70
<b>14</b>	4,640	12,037	7,397	3,70
<b>15</b>	4,682	12,069	7,387	3,69
<b>16</b>	4,710	12,113	7,403	3,70
<b><i>Promedio</i></b>			<b>7,370</b>	<b><u>3,69 %</u></b>

Fuente: Elaboración propia

Se obtuvo como porcentaje de impurezas promedio **3,69 %**.

### 3.3.2 ETAPA DE SAPONIFICACIÓN

Se detalla a continuación los valores obtenidos de la etapa de saponificación, cada muestra y su respectiva réplica, donde se muestra peso inicial, peso real del jabón húmedo más glicerina, peso del jabón real seco más glicerina y su rendimiento:

**TABLA III – 9**  
**DETALLE DE ETAPA DE SAPONIFICACIÓN**

<i>Muestra</i>	<i>Peso Inicial (gr)</i>	<i>Peso Jabón Real Húmedo (gr)+ Glicerina</i>	<i>Peso Jabón Real seco(gr)+Glicerina o Masa Experimental</i>	<i>Rendimiento* %</i>
1	200,258	237,482	217,912	95,73
Replica 1	200,018	238,880	218,934	96,18
2	200,206	238,450	222,688	97,83
Replica 2	200,082	234,580	219,285	96,33
3	200,220	238,024	222,838	97,89
Replica 3	200,008	232,823	217,713	95,64
4	200,052	233,530	219,215	96,30
Replica 4	200,055	234,141	220,022	96,66
5	200,056	233,034	218,702	96,07
Replica 5	200,087	234,156	219,615	96,48
6	200,009	233,082	214,179	94,09
Replica 6	200,114	234,010	215,336	94,60
7	200,138	234,550	218,882	96,16
Replica 7	200,225	238,220	222,140	97,59
8	200,069	236,705	221,532	97,32
Replica 8	200,105	235,005	219,730	96,53

\*Ver Balance de materia (Rendimiento)

Fuente: Elaboración propia

Los rendimientos obtenidos resultan altos, debido a que el jabón obtenido contiene glicerina.

### 3.3.3 RESULTADOS DE SECADO DEL JABÓN DURO

En la tabla III-10 se muestran los porcentajes de humedad obtenidos en la etapa de secado en cada muestra obtenida.

**TABLA III - 10**  
**PORCENTAJE HUMEDAD DEL JABÓN DURO**

<i>Muestras</i>	<i>% H</i>
1	8,24
Rep1	8,35
2	6,61
Rep2	6,52
3	6,38
Rep3	6,49
4	6,13
Rep4	6,03
5	6,15
Rep5	6,21
6	8,11
Rep6	7,98
7	6,68
Rep7	6,75
8	6,41
Rep8	6,50

Fuente: Elaboración propia

### **3.1.2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS**

#### **3.1.1 RECOLECCIÓN DE DATOS**

Los resultados obtenidos de cada combinación temperatura, tiempo y concentración, planteada en el diseño de experimentos, nos ayuda a determinar los factores más significativos para este proceso, es decir, nos muestra qué parámetro tiene una mayor incidencia en el resultado final. La variable respuesta que se determinó, fue el índice de saponificación de cada muestra final de jabón, que se obtenía según el plan de experimentación. Para obtener resultados más confiables se realizaron dos mediciones.

En la Tabla III – 11 se resumen los experimentos que se han tenido en cuenta, los valores de las variables y los resultados obtenidos de forma experimental, dentro del proceso de elaboración de jabón duro.

**TABLA III – 11**  
**PARÁMETROS OBTENIDOS DISEÑO FACTORIAL**

<i>Muestras</i>	<i>Temperatura (°C)</i>	<i>Tiempo (min)</i>	<i>Conc. NaOH (%m/v)</i>	<i>Ind.Sap. (mgKOH/g grasa)</i>	<i>pH</i>	<i>%H</i>
1	40	30	35	24,77	10,51	8,24
Rep1	40	30	35	25,02	10,63	8,35
2	50	30	35	34,16	10,51	6,61
Rep2	50	30	35	34,33	10,60	6,52
3	40	60	35	20,16	10,70	6,38
Rep3	40	60	35	19,58	10,74	6,49
4	50	60	35	23,95	10,64	6,13
Rep4	50	60	35	24,47	10,70	6,03
5	40	30	40	21,74	10,66	6,15
Rep5	40	30	40	22,15	10,70	6,21
6	50	30	40	26,40	10,44	8,11
Rep6	50	30	40	27,08	10,50	7,98
7	40	60	40	17,63	10,56	6,68
Rep7	40	60	40	17,90	10,54	6,75
8	50	60	40	28,00	10,59	6,41
Rep8	50	60	40	27,64	10,60	6,50

Fuente: Elaboración propia

### 3.1.2.1 ANÁLISIS DE LOS DATOS EN EL PROGRAMA SPSS.

Para realizar el análisis estadístico del diseño experimental, se utilizó el **SPSS 11.5** (*Statistical Package for the Social Sciences*), que es un software para Windows que permite un tratamiento integrado de todas las fases que conlleva el análisis de datos, obteniéndose resultados más representativos y confiables.

De acuerdo al programa se obtienen los siguientes resultados:

**TABLA III – 12**  
**DATOS INTRODUCIDOS AL PROGRAMA SSPS PARA CÁLCULO DEL**  
**ANÁLISIS DE VARIANZA UNIVARIANTE**

<i>Temperatura</i>	<i>Tiempo</i>	<i>Concentración</i>	<i>Índice sap</i>	<i>Tiempo*Conc</i>
-1	-1	-1	24,77	1
1	-1	-1	34,16	1
-1	1	-1	20,16	-1
1	1	-1	23,95	-1
-1	-1	1	21,74	-1
1	-1	1	26,40	-1
-1	1	1	17,63	1
1	1	1	28,00	1
-1	-1	-1	25,02	1
1	-1	-1	34,33	1
-1	1	-1	19,58	-1
1	1	-1	24,47	-1
-1	-1	1	22,15	-1
1	-1	1	27,08	-1
-1	1	1	17,90	1
1	1	1	27,64	1

Fuente: Elaboración propia

**TABLA III – 13**  
**FACTORES INTER-SUJETOS**

		N
Temperatura	-1,00	8
	1,00	8
Tiempo	-1,00	8
	1,00	8
Concentración	-1,00	8
	1,00	8

Fuente: Elaboración propia

**TABLA III – 14**  
**PRUEBAS DE LOS EFECTOS INTER-SUJETOS**

Variable dependiente: isap

Origen	Suma de cuadrados tipo III	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	342,217 <sup>a</sup>	6	57,036	18,918	,000
Intersección	9750,575	1	9750,575	3234,162	,000
Temp	203,633	1	203,633	67,543	,000
Tiempo	82,446	1	82,446	27,347	,001
Conc	20,026	1	20,026	6,642	,030
temp * tiempo	,016	1	,016	,005	,944
temp * conc	,336	1	,336	,112	,746
tiempo * conc	35,760	1	35,760	11,861	,007
Error	27,134	9	3,015		
Total	10119,926	16			
Total corregido	369,351	15			

a. R cuadrado = .927 (R cuadrado corregida = .878)

Fuente: Elaboración propia

En la tabla III –14 se observa los resultados obtenidos del análisis de la varianza para el proceso de elaboración del jabón duro.

Se puede observar que el efecto de las variables temperatura, tiempo, concentración y la interacción tiempo – concentración (tiempo\*conc), influyen sobre el índice de saponificación del jabón obtenido, ya que el nivel de significancia es menor al 5% o 0,05 como se puede observar en la última columna de la tabla, lo que implica la posibilidad de que las variables sean significativas sobre el proceso de elaboración de jabón duro, con una confianza del 95%.

**TABLA III – 15**  
**VARIABLES INTRODUCIDAS/ELIMINADAS**

Modelo	VARIABLES introducidas	VARIABLES eliminadas	Método
1	tiempconc, conc, tiempo, temp <sup>a</sup>	Ninguna	Introducir
a. Todas las variables solicitadas introducidas.			

Fuente: Elaboración propia

En la tabla III – 15 se muestra las variables introducidas y eliminadas a través del programa, pero al ser significativas (menor al 5% o 0,05) todas las variables, no se eliminan ninguna variable ya que se utilizarán para el modelo lineal matemático.

**TABLA III – 16**  
**RESUMEN DEL MODELO<sup>b</sup> LINEAL GENERAL**

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	0,962 <sup>a</sup>	0,926	0,899	1,58073
a. Variables predictoras: (Constante), tiempconc, conc, tiempo, temp				
b. Variable dependiente: isap				

Fuente: Elaboración propia

**TABLA III – 17**  
**ANOVA<sup>b</sup>**

Modelo		Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	341,865	4	85,466	34,204	,000 <sup>a</sup>
	Residual	27,486	11	2,499		
	Total	369,351	15			
a. Variables predictoras: (Constante), tiempconc, conc, tiempo, temp						
b. Variable dependiente: isap						

Fuente: Elaboración propia

**TABLA III – 18**  
**COEFICIENTES<sup>a</sup>**

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	T	Sig.	Intervalo de confianza de 95.0% para B	
	B	Error típ.	Beta			Límite inferior	Límite superior
(Constante)	24,686	,395		62,468	,000	23,816	25,556
Temperatura	3,568	,395	,743	9,027	,000	2,698	4,437
Tiempo	-2,270	,395	-,472	-5,744	,000	-3,140	-1,400
Concentración	-1,119	,395	-,233	-2,831	,016	-1,989	-,249
Tiemp*Conc	1,495	,395	,311	3,783	,003	,625	2,365

a. Variable dependiente: isap

Fuente: Elaboración propia

A través de la tabla III – 18, se determinó que el modelo lineal matemático ajustado para el proceso de elaboración de jabón duro es el siguiente:

$$\begin{aligned}
 \mathbf{Indsap} = & \mathbf{24,686 + 3,568 Temp - 2,270 Tiempo - 1,119 Conc} \\
 & \mathbf{+1,495Tiemp * Conc}
 \end{aligned}$$

Se puede concluir de análisis estadístico, que la elección del modelo en su conjunto es correcta ya que la variable dependiente y las variables independientes son significativas para un nivel de confianza de 95%.

### 3.2.2 OBTENCIÓN DE MUESTRAS PARA LA VELOCIDAD DE REACCIÓN

Las muestras para la determinación de la cinética se obtienen a intervalos de tiempos regulares de 10 minutos, empezando de 0 minutos a 60 minutos, desde que la temperatura se encuentra a 40°C y se adiciona la solución de hidróxido de sodio 40% m/v, la temperatura debe mantenerse constante durante todo el transcurso de la reacción de saponificación.

Los análisis realizados son la determinación del índice de saponificación e índice de acidez de las diferentes muestras de jabón, basados en las Normas Bolivianas NB34004 y NB34005, esto es para encontrar la cinética de saponificación, los resultados son los siguientes:

**TABLA III – 19**  
**RESULTADO DEL ÍNDICE DE SAPONIFICACIÓN E ÍNDICE DE ACIDEZ**  
**A DIFERENTES TIEMPOS**

<b>MUESTRA</b>	<b>t (min)</b>	<b>Índice de Saponificación</b>	<b>Índice de Acidez</b>
1	0	203.37	2.13
2	10	31.08	5.86
3	20	21.95	7.95
4	30	19.26	11.69
5	40	17.77	13.23
6	50	17.80	14.58
7	60	17.78	14.63
8	70	17.78	14.50

Fuente: Elaboración propia

Se analizaron 8 muestras obtenidas durante la reacción de saponificación, tanto con la determinación del índice de saponificación, como con la determinación del índice de acidez; con estos datos se considera suficiente para construir la gráfica real de la reacción de saponificación.

### **3.2.3 MÉTODO DE ANÁLISIS DE DATOS**

En el método diferencial se emplea directamente la ecuación diferencial a ensayar: se evalúan todos los términos de la ecuación, incluida la derivada  $dC_A/dt$ , y se ensaya la bondad del ajuste de la ecuación con los datos experimentales.

El análisis de la ecuación cinética por el método diferencial puede resumirse en las etapas siguientes:

1. Se supone un mecanismo y a partir de él se obtiene la ecuación de la cinética; como en el método integral, ha de tener esta forma:

$$-r_A = -dC_A/dt = kf(C)$$

Se puede trabajar cuando no se cuenta con los datos de concentración, con los valores del grado de conversión de una reacción. Como es el presente caso, que se cuenta con los datos experimentales representados por el grado de conversión.

$$-r_A = -dX_A/dt = kf(1-X_A)$$

2. A partir de la experimentación se obtienen los datos de grado de conversión-tiempo y se representan gráficamente.

3. Se traza la curva continua ajustada a los puntos presentados.

4. Se determinan las pendientes de esta curva para distintos valores de grado de conversión tomadas a intervalos regulares. Estas pendientes,  $dX_A/dt$ , son como las velocidades de reacción para las concentraciones consideradas. Las pendientes se pueden calcular por el método de los tres puntos o cinco puntos. Para este caso se empleará la diferenciación por el método de los tres puntos. El  $h$  elegido es de 10 min.

$$i. Y_0' = (-3 Y_0 + 4 Y_1 - Y_2)/(2h)$$

$$ii. Y_1' = (-Y_0 + Y_2)/(2h)$$

$$i. Y_2' = (Y_0 - 4 Y_1 + 3 Y_2)/(2h)$$

Donde:

$Y_0'$  = Primer punto

$Y_1'$  = Segundo punto

$Y_2'$  = Tercer punto

$Y_0$ = Primer dato

$Y_1$ = Segundo dato

$Y_2$ = Tercer dato

$h$  = distancia constante entre los puntos

Las etapas más significativas de este procedimiento, son las etapas 3 y 4, ya que un mínimo error en el trazado de la curva, originará un error significativo en las pendientes calculadas.

Una vez obtenida la cinética de saponificación, tendremos una función que nos representará la velocidad de reacción de la saponificación de una grasa con un álcali dando como producto el jabón y nos permitirá determinar las condiciones óptimas para su elaboración.

### **3.2.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Los datos obtenidos en el laboratorio, de los análisis realizados a la muestras, son fundamentales, pues permite correlacionar los valores del grado de conversión a diferentes tiempos de reacción y con estos datos importantes determinar la cinética de saponificación.

El grado de conversión está expresado como el cociente entre el índice de acidez y el índice de saponificación; esta relación es completamente válida si se toma en cuenta que el índice saponificación indica los miligramos de potasa consumidos por gramo de aceite en caliente, es decir, el KOH reacciona tanto con la grasa no hidrolizada como con los ácidos grasos libres. En tanto que el índice de acidez es igual que el anterior, pero la operación se practica en frío, de tal manera que el KOH solo reaccione con los ácidos libres. (Jurado E., 2010)

La gráfica completa de la reacción de saponificación, toma como punto inicial el grado de conversión del aceite usado puro, 0.01% y a medida que se adiciona el hidróxido de sodio y con el transcurrir del tiempo, el aceite se va convirtiendo en

jabón, desde el momento que se añade el álcali comienza la reacción de saponificación.

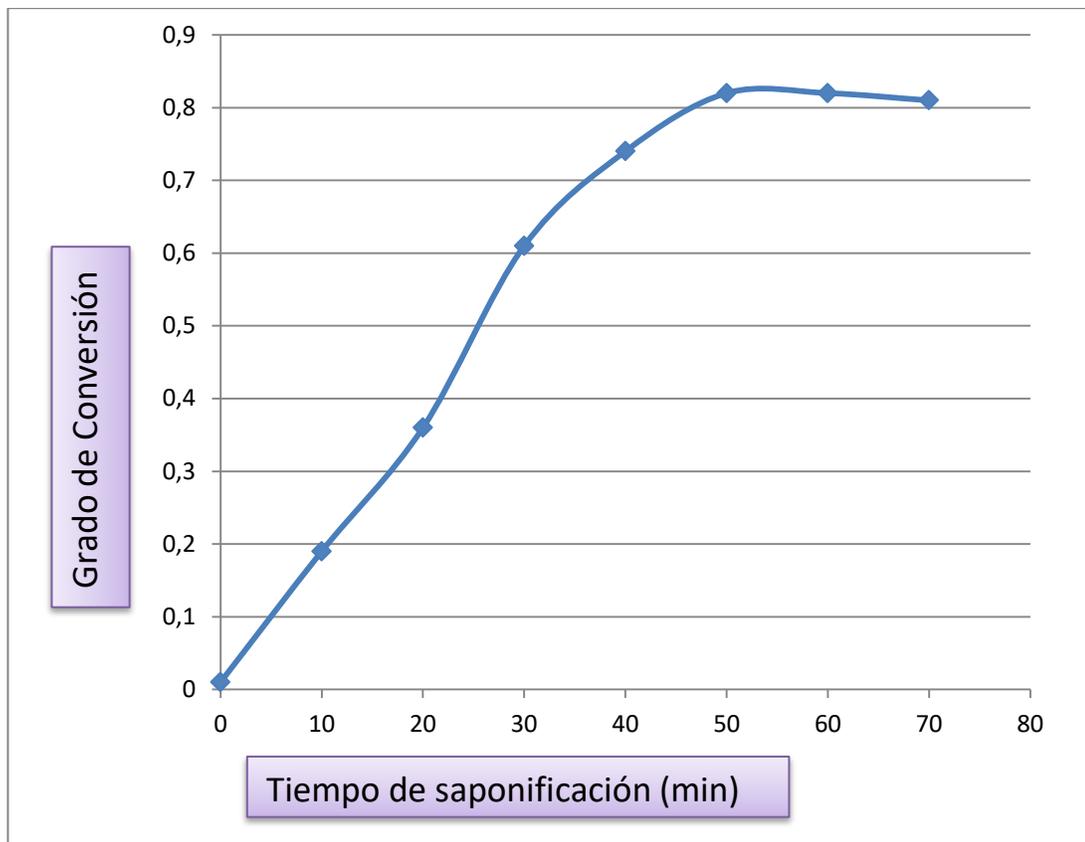
Los valores experimentales de conversión a diferentes tiempos son presentados en la tabla III-20; posteriormente son representados punto a punto y realizando seguidamente el ajuste de la curva, obteniéndose una función experimental aproximada a la reacción de saponificación, desde el cargado al reactor, hasta alcanzar la pasta jabonosa.

**TABLA III – 20**  
**VALORES DEL GRADO DE CONVERSIÓN A INTERVALOS DE 10**  
**MINUTOS**

<i>Muestra</i>	<i>t (min)</i>	<i>Grado de Conversión (Ia/Is)</i>
1	0	0.01
2	10	0.19
3	20	0.36
4	30	0.61
5	40	0.74
6	50	0.82
7	60	0.82
8	70	0.81

Fuente: Elaboración propia

**GRÁFICA III - 1**  
**GRÁFICA DE LA REACCIÓN DE SAPONIFICACIÓN EN LA**  
**PRODUCCIÓN DE JABÓN DURO**



Fuente: Elaboración propia

En la figura III – 1 se puede observar los datos experimentales del grado de conversiones representadas por el cociente entre el índice de acidez y el índice de saponificación de las muestras tomadas a diferentes tiempos de reacción. Resultando como punto óptimo el grado de conversión a 60 minutos ya que a 70 minutos el grado de conversión empieza a descender y el jabón empieza a perder sus propiedades eficientes, es decir, deteriorarse.

La metodología analizada supone que los datos cinéticos son reproducibles y precisos, para lo cual, se realiza el método diferencial, que requiere la diferenciación de los datos de conversión  $X_A$  en función del tiempo  $t$ , para obtener una velocidad experimental.

Con el método de los tres puntos (utilizando ecuaciones planteadas en el 4° paso del método de análisis) se obtienen las pendientes individuales para cada par de valores de conversión-tiempo para estimar la cinética de la reacción de saponificación.

**TABLA III – 21**  
**VALORES DE LAS PENDIENTES PARA DETERMINAR LA FUNCIÓN**  
**QUE REPRESENTA LA CINÉTICA DE SAPONIFICACIÓN**

<i>Tiempo</i> <i>t (min)</i>	<i>Grado de</i> <i>Conversión</i> $X_A$	$C_A(\text{mol/l})$	$-r_A=dX_A/dt$	$\ln C_A$	$\ln(-r_A)$
0	0,01	14.11	-0,2645	2,6467	-1,3299
10	0,19	11.54	-0,2495	2,4460	-1,3883
20	0,36	9.12	-0,2345	2,2105	-1,4503
30	0,61	5.56	-0,2205	1,7151	-1,5119
40	0,74	3.71	-0,171	1,3097	-1,7661
50	0,82	2.57	-0,0785	0,9420	-2,5447
60	0.82	2.57	0.057	0,9420	2,8647
70	0.81	2.71	0.021	0,9969	3,8632

Fuente: Elaboración propia

En la tabla III – 21 se muestra cómo varía el grado de conversión en función del tiempo de saponificación; se puede observar que a partir del minuto 70 de reacción se presenta una disminución de la velocidad de reacción, tal como se observa en la reducción de la pendiente; además, el grado de conversión se estabiliza, llegando a variar entre el minuto 60 y 70 una mínima parte; por tanto la velocidad de reacción de saponificación se reduce notablemente hasta permanecer casi constante, de manera que no se aporta significativamente a la conversión y se estima como concluida la

reacción, por cuanto solo se tendrían costos operativos para bajos niveles de conversión, por lo que se desecha estos dos últimos valores en la determinación de la cinética de saponificación.

En la tabla III – 22 se muestra los datos con los que se determina la cinética de saponificación y el orden de la reacción.

**TABLA III – 22**  
**VALORES DE LAS PENDIENTES PARA DETERMINAR LA CINÉTICA DE SAPONIFICACIÓN**

<i>Tiempo t (min)</i>	<i>Grado de Conversión X<sub>A</sub></i>	<i>C<sub>A</sub>(mol/l)</i>	<i>-r<sub>A</sub>=dX<sub>A</sub>/dt</i>	<i>ln C<sub>A</sub></i>	<i>ln(-r<sub>A</sub>)</i>
0	0,01	14.11	-0,2645	2,6467	-1,3299
10	0,19	11.54	-0,2495	2,4460	-1,3883
20	0,36	9.12	-0,2345	2,2105	-1,4503
30	0,61	5.56	-0,2205	1,7151	-1,5119
40	0,74	3.71	-0,171	1,3097	-1,7661
50	0,82	2.57	-0,0785	0,9420	-2,5447

Fuente: Elaboración propia

Con el método de los tres puntos se encuentra el valor de las pendientes individuales para cada par de valores de grado de conversión (X<sub>A</sub>) - tiempo (t); realizando la linealización de estos puntos se encuentra en el orden de la reacción de saponificación.

Linealización:  $-r_A = kC_A^n = -dC_A/dt$

$$\ln(-dC_A/dt) = \ln k + n \ln C_A$$

$\begin{matrix} \updownarrow \\ y \end{matrix}$ 
 $\begin{matrix} \updownarrow \\ a \end{matrix}$ 
 $\begin{matrix} \updownarrow \\ b \end{matrix}$ 
 $\begin{matrix} \updownarrow \\ x \end{matrix}$

Los resultados de la linealización son los siguientes

$$a = -2.0996$$

$$b = 0.2955$$

Reemplazando datos:

$$\ln k = a$$

$$k = e^a = e^{-2.0996} = 0.123$$

$$k = 0.123$$

$$b = n$$

$$n = 0.2955$$

Una vez obtenidos los datos, se procede a encontrar la ecuación cinética que representa a la reacción de saponificación:

$$-r_A = kX_A^n$$

$$-r_A = 0.123C_A^{0.2955}$$

Donde:

$-r_A$  = velocidad de reacción

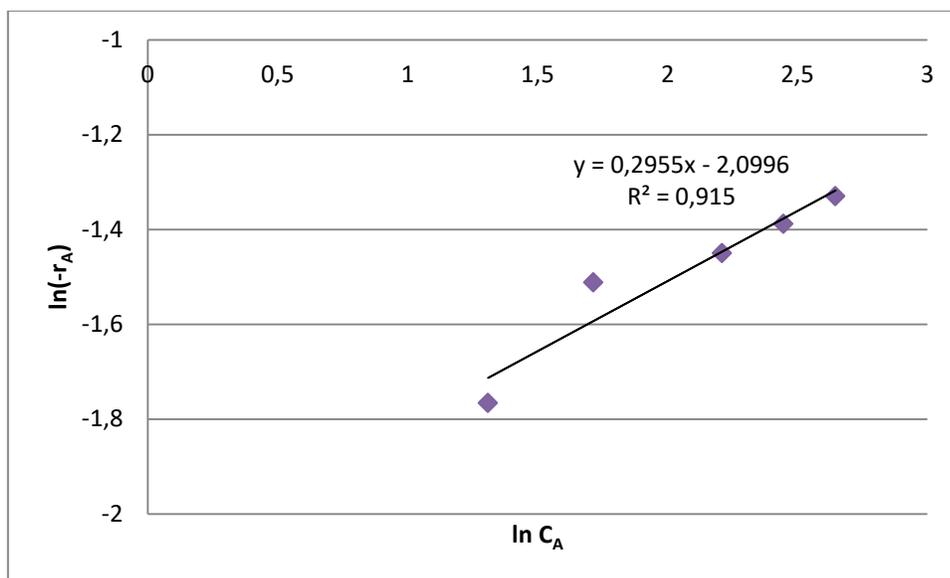
$k$  = constante de velocidad

$C_A$  = concentración del componente A

$n$  = orden de la reacción

En consecuencia, la ecuación que se ajusta a los datos experimentales y que representa la cinética de saponificación, es la cinética de orden fraccionario 0.2955.

**GRÁFICA III – 2**  
**GRÁFICA DE REPRESENTACIÓN DEL MODELO CINÉTICO DE LA REACCIÓN DE SAPONIFICACIÓN**



Fuente: Elaboración propia

En la gráfica III – 2 se observa la representación del modelo cinético de la reacción de saponificación, representado por los valores de  $\ln(-r_A)$  Vs  $\ln C_A$ , donde se obtiene una línea casi recta con una correlación de 0.915; este es un valor aceptable porque se acerca a la unidad.

### 3.3 CONTROL DE CALIDAD DEL PRODUCTO FINAL

Los resultados del análisis fisicoquímico efectuado en el producto final “Jabón Duro a partir de Aceite Usado” según los métodos mencionados en el capítulo I, se detalla en la tabla III – 23.

De acuerdo a los resultados del diseño factorial, donde se obtuvo datos óptimos de Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), Tiempo (min), Concentración (%m/v); se obtuvieron los valores óptimos de Índice de Saponificación.

**TABLA III – 23**  
**CONTROL DE CALIDAD DEL PRODUCTO FINAL**

<i>Muestras</i>	<i>Temperatura (°C)</i>	<i>Tiempo (min)</i>	<i>Conc. NaOH (%m/v)</i>	<i>Ind.Sap. (mgKOH/g grasa)</i>	<i>ph</i>	<i>%H</i>
1	40	60	40	17.70	10,54	9.35
2	40	60	40	17.85	10,64	8,98
3	40	60	40	17.61	10,58	9,02

Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenido el producto final, se procedió a realizar la caracterización Fisicoquímica del Jabón duro obtenido, como se puede apreciar en la siguiente tabla:

**TABLA III – 24**  
**PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS JABONES DUROS ELABORADOS**

<i>Propiedad evaluada</i>	<i>Valor obtenido</i>
Forma	Barra
Color	Crema
ph	10,59
Textura	Suave
Dureza	1,25
Humedad	9,12
Índice de saponificación	17,72

Fuente: Elaboración propia

### 3.4 COMPARACIÓN DE RESULTADOS

A continuación se muestra una tabla, en la cual se puede comparar los valores de los jabones obtenidos con los jabones duros que se comercializan en la actualidad; por lo tanto se puede apreciar las siguientes variaciones:

**TABLA III – 25**  
**COMPARACIÓN DEL JABÓN OBTENIDO Y JABONES COMERCIALES**

<i>Propiedades Físicas de Jabones Duros</i>			
<i>Propiedad Evaluada</i>	<i>Oso</i>	<i>Cosquín</i>	<i>Jabón obtenido</i>
Forma	Barra	Barra	Barra
Color	Verde	Verde	Crema
ph	10,80	10,74	10,59
Textura	Suave	Suave	Suave
Humedad	5,83	4,56	9,12
Índice de saponificación	20,09	18,45	17,72
Dureza <sup>a</sup>	2	2	1,25

Fuente: Elaboración propia

- El pH está dentro de los parámetros aceptables.
- La forma, el color, la textura y la dureza son similares a los jabones que se comercializan en la actualidad.
- La Humedad se puede ver que es mayor debido a que es un jabón recién obtenido por lo que conserva todavía un porcentaje de humedad que se irá perdiendo en el transcurso de los días que tarde en llegar al cliente final.
- El Índice de Saponificación es menor al de los jabones que se comercializan en el mercado debido a que se tiene un mayor porcentaje de conversión de las grasas que se utilizan como materia prima.

Se muestra a continuación los jabones duros obtenidos:

**FOTO 3 – 1**  
**JABONES DUROS ELABORADOS**



Fuente: Elaboración propia

### **3.5 BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA**

#### **3.5.1 BALANCE DE MATERIA**

##### **3.5.1.1 FILTRACIÓN**

En esta operación se procede a la separación del aceite de impurezas (restos de pollo, residuos de harina y otros) utilizando el proceso de filtración. El aceite usado a procesar contiene como promedio el 3,69 % de impurezas, es decir que del proceso de filtración se obtiene las impurezas en un 3,69 % del aceite usado.

La cantidad de materia prima disponible por año es de 23724 litros, es decir, mensualmente se cuenta con 1977 litros.

El balance se muestra en el siguiente diagrama y se realiza para determinar el porcentaje de impurezas en el aceite usado:



Datos:

A= 200 gr

B = 192,62 gr

Balance general

$$A = B + C$$

**Masa de aceite usado**

Despejando C:

$$C = A - B$$

Reemplazando datos

$$C = 200 \text{ gr} - 192,62 \text{ gr}$$

$$C = 7,38 \text{ gr}$$

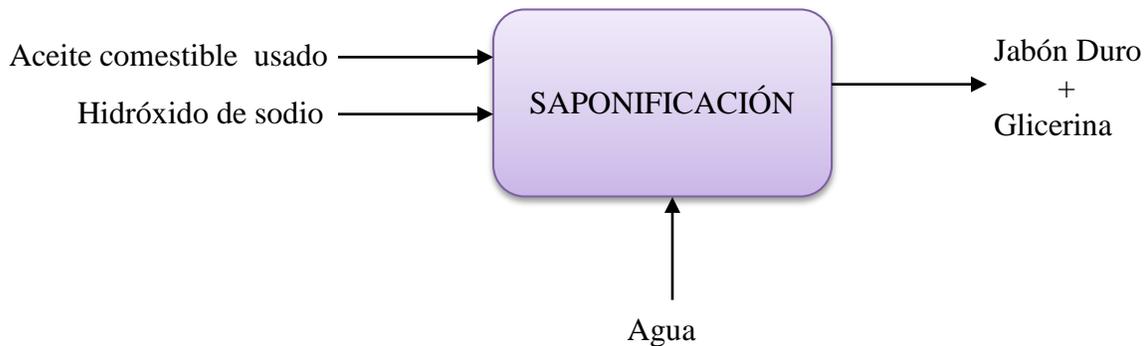
$$\%imp = \frac{m_{impurezas}}{m_{total}} * 100$$

$$\%imp = \frac{7,38 \text{ gr}}{200 \text{ gr}} * 100$$

$$\%imp = 3,69$$

### 3.5.1.2 SAPONIFICACIÓN

El balance global del proceso de elaboración de jabón duro, se lo realiza tomando como base de calculo, 200 gr de aceite usado.



#### Propiedades físicas del Aceite comestible usado:

A continuación se detallan las propiedades físicas que se obtuvo del aceite usado:

- Densidad del aceite comestible usado: 0.9193 g/ml (determinado experimentalmente).
- Cp. del aceite comestible usado : 0.47 kcal/kg°C ( Dato obtenido de tablas de Calor Especifico de Aceites Vegetales, Anexo 4)
- Índice de saponificación : 203.37 mg KOH/g de grasa (determinado experimentalmente)

#### Propiedades físicas del hidróxido de sodio:

- Hidróxido de sodio: 40% (determinado experimentalmente)
- Densidad: 1,423 g/cm<sup>3</sup> (30°C) ( Dato obtenido de tablas Densidad de Soluciones de Soda Cáustica a varias temperaturas, Anexo 4)

### Alimentación de Materia a saponificar

Total de aceite comestible usado por batch : 200 gr

### Hidróxido de sodio

Como los índices de saponificación están expresados en miligramos de hidróxido de potasio por gramo de aceite, se llevan a miligramos de hidróxido de sodio utilizando un factor de conversión. Teniendo que la masa molar del hidróxido de potasio es de 56 g/mol y la masa de hidróxido de sodio es 40 g/mol, utilizando la siguiente ecuación se tiene:

Hidróxido de sodio requerido por batch.

$$\begin{aligned} \text{Índice de Saponificación} * \frac{m_{NaOH}}{m_{KOH}} &= 203,37 \frac{mg KOH}{g \text{ de aceite}} * \frac{40 mg NaOH}{56 mg KOH} \\ &= 145,26 \frac{mg NaOH}{g \text{ de aceite}} \end{aligned}$$

Con este valor de índice de saponificación y 200 gr de materia prima se obtiene la cantidad de hidróxido de sodio para cada reacción, usando la siguiente ecuación:

$$\text{Índice de Saponificación} * gr \text{ de Materia Prima} = gr NaOH$$

Reemplazando datos y realizando conversión de unidades.

$$145,26 \frac{mg NaOH}{gr \text{ de aceite}} * 200 gr \text{ de aceite} = 29052 mg NaOH$$

$$29052 mg NaOH * \frac{1 g}{1000 mg} = 29,052 gr NaOH$$

En nuestro caso no se trabajó con exceso de hidróxido de sodio evitando de esta forma tener que lavar el jabón, para la eliminación de la glicerina.

Para obtener el volumen de solución de hidróxido de sodio al 40% (m/v); se realizaron los cálculos mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Solución al 40\% m/v} = \frac{\text{masa del soluto kg NaOH}_{total}}{\text{Volumen de solución}} * 100$$

Donde

$masa\ del\ soluto = NaOH_{total}\ en\ kg$

$Volumen\ de\ solución = en\ lt$

Despejando el volumen de la solución y sustituyendo la cantidad de hidróxido de sodio requerida para la reacción se tiene que:

$$Volumen\ de\ la\ solución \frac{29,052\ NaOH_{total}}{40\ \% \ solución} * 100\% = 72,63\ ml\ de\ Solución$$

Cantidad de Agua

$$Volumen\ de\ soluto = \frac{\% m/v * Volumen\ de\ solución}{100\%}$$

$$Volumen\ de\ soluto = \frac{40\% * 72,63\ ml}{100\%}$$

$$Volumen\ de\ soluto = 29,052\ ml$$

$$Volumen\ de\ solvente_{agua} = Volumen\ de\ la\ solución - Volumen\ del\ soluto$$

$$Volumen\ de\ solvente_{agua} = 72,63\ ml - 29,052\ ml$$

$$Volumen\ de\ solvente_{agua} = 43,578\ ml$$

### **Cantidad de solución requerida**

Hidróxido de sodio : 29,052 gr

Volumen de agua : 43, 578 ml

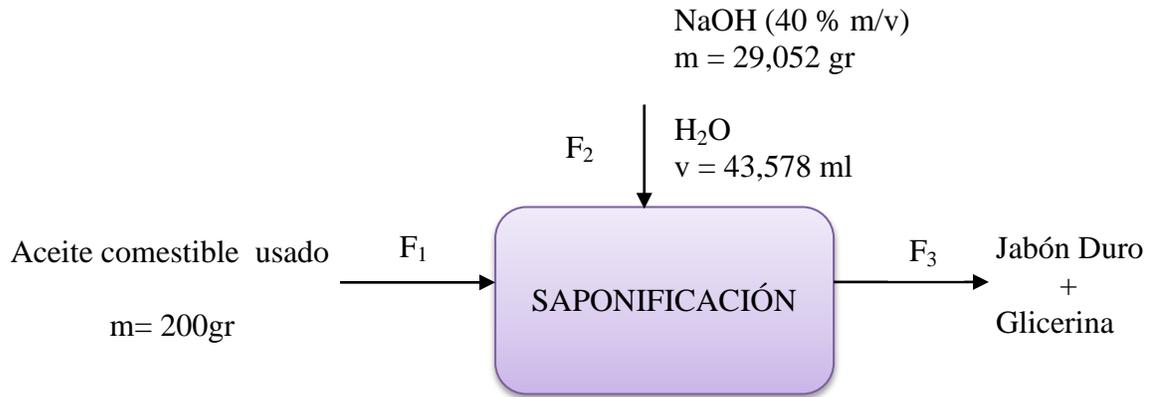
Volumen de solución : 72,63 ml

### **Jabón formado**

La cantidad de jabón formado en esta etapa, se determina en función a la cantidad del aceite usado que se saponifica en el reactor batch.

Aceite comestible usado: 200 gr

Hidróxido de sodio: 29,052 gr



Balance general

$$F_1 + F_2 = F_3$$

$$200\text{gr} + 29,052 = 229,052 \text{ gr}$$

Según la reacción de saponificación, la relación estequiométrica es la siguiente:



1 mol	3 mol	3mol	1mol
856,55 gr	3(40 gr)	3 (294,85 gr)	92 gr

De la relación estequiométrica se determina la cantidad de jabón formado:

$$m_{\text{jabón}} = 200 \text{ gr de aceite} * \frac{1 \text{ mol de aceite}}{856,55 \text{ gr de aceite}} * \frac{3 \text{ mol de jabón}}{1 \text{ mol de aceite}}$$

$$* \frac{294,85 \text{ gr de jabón}}{1 \text{ mol de jabón}} = 206,54 \text{ gr de jabón}$$

También de la relación estequiométrica se determina la cantidad de glicerina formada:

$$m_{\text{glicerina}} = 200 \text{ gr de aceite} * \frac{1 \text{ mol de aceite}}{856,55 \text{ gr de aceite}} * \frac{1 \text{ mol de glicerina}}{1 \text{ mol de aceite}} * \frac{92 \text{ gr de glicerina}}{1 \text{ mol de jabón}} = 21,48 \text{ gr de glicerina}$$

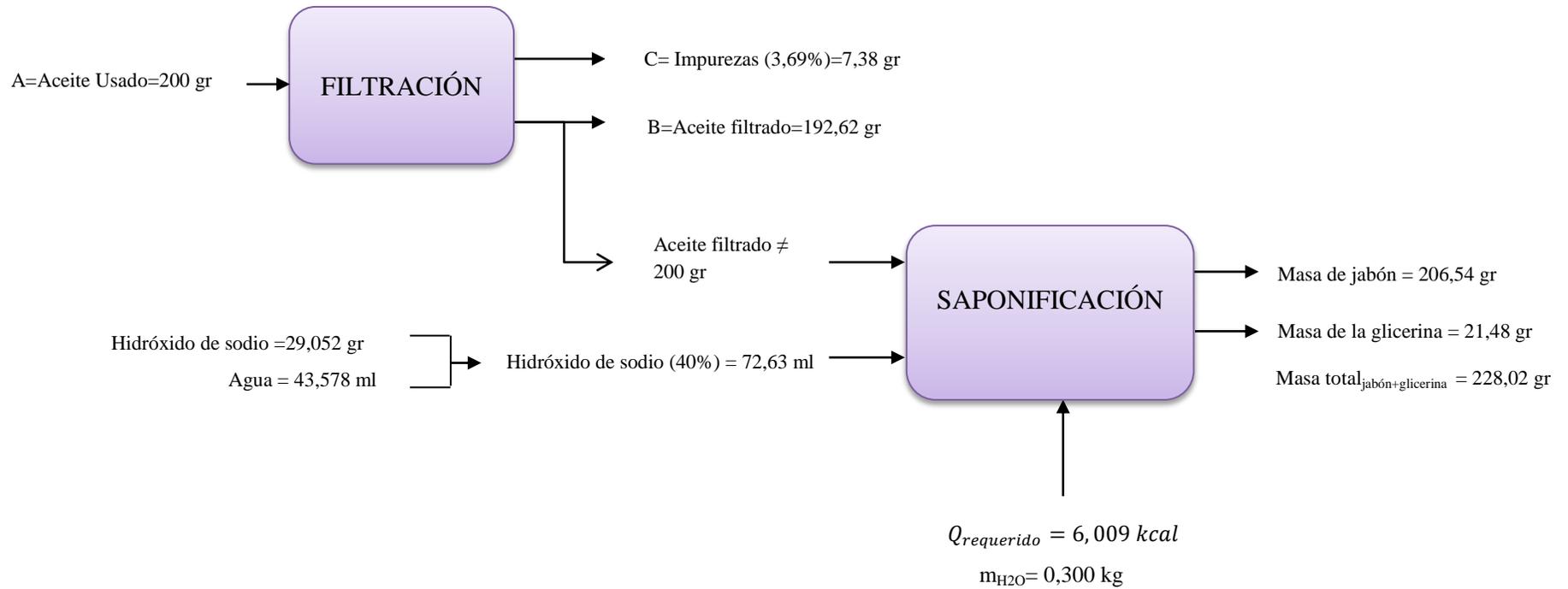
Para obtener la masa total del jabón obtenido:

$$\text{masa total jabón obtenido} = m_{\text{jabón}} + m_{\text{glicerina}}$$

$$\text{masa total jabón obtenido} = 206,54 \text{ gr} + 21,48 \text{ gr}$$

$$\text{masa total jabón obtenido} = 228,02 \text{ gr}$$

**FIGURA III - 1**  
**RESUMEN DE BALANCE DE MATERIA**  
**ETAPA DE FILTRACIÓN Y SAPONIFICACIÓN**



Fuente: Elaboración propia

### 3.5.2 BALANCE DE ENERGÍA

Para realizar el cálculo del requerimiento de calor que se necesita para el baño maría, como medio calefaccionante en el proceso de saponificación en el reactor, se realiza el siguiente balance de energía:

#### 3.5.2.1 BALANCE DE ENERGÍA PARA LA SAPONIFICACIÓN

Los cálculos para el Balance de Energía para la saponificación del aceite comestible usado son los siguientes:

##### Especificaciones:

De manera experimental se obtiene la Temperatura:

T. Alimentación: 20 °C

T. de saponificación: 40°C

$\Delta T$ : 20°C

De tablas de Capacidad Calorífica se tiene:

$C_{p \text{ agua}}$ : 1 kcal/kg°C (Tablas ver anexo 4)

$C_{p \text{ aceite}}$ : 0,47 kcal/kg°C (Tablas ver anexo 4)

$C_{p \text{ jabón}}$ : 0,650 kcal/kg°C (Tesis de Jabón, Arroyo J.)

$C_{p \text{ NaOH}}$ : 0,992 kcal/kg°C (Tablas ver anexo 4)

Los resultados de las masas del balance de materia son los siguientes:

$m_{\text{agua}}$ : 43,578 gr

$m_{\text{aceite usado}}$ : 200 gr

$m_{\text{jabón}}$ : 206,54 gr

$m_{\text{NaOH}}$ : 29,052 gr

Total: 479,17 gr

La capacidad calorífica media es:

$$\bar{Cp} = \sum Cp_i * x_i$$

$$\bar{Cp} = Cp_{agua} * x_{agua} + Cp_{aceite} * x_{aceite} + Cp_{jabón} * x_{jabón} + Cp_{NaOH} * x_{NaOH}$$

$$\begin{aligned} \bar{Cp} &= 1 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C} * \frac{0,043578 \text{ kg}}{0,47917 \text{ kg}} + 0,47 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C} * \frac{0,200 \text{ kg}}{0,47917 \text{ kg}} \\ &\quad + 0,65 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C} * \frac{0,20654}{0,47917 \text{ kg}} + 0,992 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C} \\ &\quad * \frac{0,029052 \text{ kg}}{0,47917 \text{ kg}} \end{aligned}$$

$$\bar{Cp} = 0,627 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C}$$

Para calcular la cantidad de calor requerido para la saponificación es: Calor = Q

$$Q = m_{total} * \bar{Cp} * \Delta T$$

$$Q = 0,47917 \text{ kg} * 0,627 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C} * (40 - 20^\circ\text{C})$$

$$Q = 6,009 \text{ kcal}$$

Para calcular la cantidad de agua necesaria para la saponificación es:

$$Q = m_{H_2O} Cp_{H_2O} (T_2 - T_1)$$

$$m_{H_2O} = \frac{Q}{Cp_{H_2O} (T_2 - T_1)} \qquad m_{H_2O} = \frac{6,009 \text{ kcal}}{1 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C} * (40 - 20)^\circ\text{C}}$$

$$m_{H_2O} = 0,300 \text{ kg}$$

### 3.6 RENDIMIENTO (CONVERSIÓN DE LA MATERIA PRIMA A PRODUCTO)

Para el balance de materia se tomó como base de cálculo 200 gr de aceite por batch.

Con este dato se calcula el rendimiento procediendo de la siguiente manera:

Para 200 gr de aceite usado, se obtuvo 236,39 gr de jabón húmedo más glicerina.

$masa_{experimental} = 236,39 \text{ gr}$  al 100% de Humedad

restando 9,12 % de agua se tendrá jabón seco:

$$\begin{array}{r} 236,39 \text{ gr} \text{ --- } 100 \% \\ X \text{ --- } 9,12 \% \\ X = \frac{236,39 \text{ gr} * 9,12\%}{100\%} \end{array}$$

$$X = 21,56 \text{ gr}$$

Entonces restando la masa húmeda:

$$masa_{experimental} = 236,39 \text{ gr} - 21,56 \text{ gr}$$

$$masa_{experimental} = 214,83 \text{ gr}$$

$$masa_{teórica} = 228,02 \text{ gr}$$

$$\% \eta = \frac{m_{experimental}}{m_{teórica}} * 100$$

$$\% \eta = \frac{214,83 \text{ gr}}{228,02 \text{ gr}} * 100$$

$$\% \eta = \mathbf{94,22 \%}$$

Este rendimiento obtenido resulta alto, debido a que quedan restos de glicerina que no se separaron del jabón, la glicerina es útil porque tiene propiedades desinfectantes, emolientes y humectantes, por esta razón no es útil separar este subproducto del jabón.

**CAPÍTULO IV**  
**COSTO DEL PROYECTO**

## CAPÍTULO IV

### COSTO DEL PROYECTO

#### 4.1 ESTIMACIÓN DE COSTOS PARA LA ELABORACIÓN DEL JABÓN DURO, PARA EL ANÁLISIS EXPERIMENTAL EFECTUADO

Para determinar el costo de la elaboración del jabón duro a partir del aceite usado, es necesario sumar los costos individuales más relevantes tales como costos de servicios varios, mano de obra, etc. Se tomaron en cuenta los costos efectuados desde el primer día de iniciado el presente trabajo. Los costos considerados se muestran en las siguientes tablas:

**TABLA IV – 1**

#### DETALLE DE SERVICIOS DIRECTOS

<i>Ítem</i>	<i>Descripción</i>	<i>Unidad</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Costo Unitario (Bs.)</i>	<i>Costo total (Bs.)</i>
<b>1</b>	Análisis de humedad	análisis	2	25	50
<b>2</b>	Análisis de pH	análisis	16	8	128
<b>3</b>	Análisis de índice de saponificación	análisis	18	28.5	513
<b>4</b>	Servicios varios (energía, agua)	día	90	20	1800
<b>5</b>	Alquiler de equipos	día	90	50	4500
<b>6</b>	Mano de Obra	día	90	120	10800
<b>Costo subtotal (1)</b>					<b>17791</b>

Fuente: Elaboración propia

**TABLA IV – 2**  
**DETALLE DE SERVICIOS INDIRECTOS**

<i>Ítem</i>	<i>Descripción</i>	<i>Unidad</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Costo Unitario (Bs.)</i>	<i>Costo total (Bs.)</i>
<b>1</b>	Internet	horas	100	3	300
<b>2</b>	Transporte	pasajes	180	2	360
<b>Costo subtotal (2)</b>					<b>660</b>

Fuente: Elaboración propia

**TABLA IV – 3**  
**DETALLE DE MATERIA PRIMA Y REACTIVOS QUÍMICOS**

<i>Ítem</i>	<i>Descripción</i>	<i>Unidad</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Costo Unitario (Bs.)</i>	<i>Costo total (Bs.)</i>
<b>1</b>	Aceite comestible usado	lt	5	5	25
<b>2</b>	NaOH 98%	kg	1	20	20
<b>3</b>	KOH	kg	0,1	25	2,50
<b>4</b>	Alcohol 96%	lt	5	10	50
<b>5</b>	Agua destilada	lt	4	6	24
<b>6</b>	Fenolftaleína	g	1	800	8
<b>7</b>	HCl	lt	0,05	520	10,40
<b>Costo subtotal (3)</b>					<b>139,90</b>

Fuente: Elaboración propia

**TABLA IV – 4**  
**DETALLE DE MATERIALES**

<i>Ítem</i>	<i>Descripción</i>	<i>Unidad</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Costo Unitario (Bs.)</i>	<i>Costo total (Bs.)</i>
<b>1</b>	Vasos plásticos	pieza	20	0.05	1
<b>2</b>	Papel filtro	pliegue	1	5	5
<b>3</b>	Repasadores	pieza	3	3	9
<b>4</b>	Guantes de goma	pieza	1	10	10
<b>5</b>	Barbijos	pieza	5	1	5
<b>Costo subtotal (4)</b>					<b>30</b>

Fuente: Elaboración propia

**TABLA IV – 5**  
**DETALLE DE MATERIALES DE ESCRITORIO**

<i>Ítem</i>	<i>Descripción</i>	<i>Unidad</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Costo Unitario (Bs.)</i>	<i>Costo total (Bs.)</i>
<b>1</b>	Bolígrafos	pieza	5	5	25
<b>2</b>	Papel Bond (resma)	hojas	1000	0.10	100
<b>3</b>	Tinta de impresora	cartucho	2	150	300
<b>4</b>	Bibliografía (fotocopias)	hojas	100	0.30	30
<b>5</b>	Marcadores	unidad	2	5	10
<b>Costo subtotal (5)</b>					<b>465</b>

Fuente: Elaboración propia

**TABLA IV – 6**  
**COSTO TOTAL**

<i>Ítem</i>	<i>Descripción</i>	<i>Costo total (Bs.)</i>
<b>1</b>	<b>Detalle de servicios directos</b>	<b>17791</b>
<b>2</b>	<b>Detalle de servicios indirectos</b>	<b>660</b>
<b>3</b>	<b>Detalle de materia prima y reactivos químicos</b>	<b>139,9</b>
<b>4</b>	<b>Detalle de materiales</b>	<b>30</b>
<b>5</b>	<b>Detalle de material de escritorio</b>	<b>465</b>
<b>TOTAL</b>		<b>19085,9</b>

Fuente: Elaboración propia

La realización de costos se elaboró conforme a los insumos o materias primas utilizados en la elaboración de jabón duro.

El costo total de la elaboración de Jabón duro es de **19085,9 Bs.** en su totalidad.

#### 4.2 COSTO UNITARIO DEL JABÓN DURO

Para realizar los cálculos del costo unitario del jabón solo se tomó en cuenta los reactivos utilizados para 200 gr de materia prima.

El costo unitario del jabón se detalla a continuación:

**TABLA IV– 7**  
**COSTO UNITARIO JABÓN DURO**

<i>Descripción</i>	<i>Unidad</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Costo Unitario (Bs)</i>	<i>Costo Total (Bs)</i>
Aceite usado	lt	0,20	5	1
NaOH 98%	kg	0,029	20	0,58
KOH	kg	0,001	25	0,025
Alcohol 96%	lt	0,025	10	0,25
Agua destilada	lt	0,052	6	0,31
<b><i>Costo Total (Bs)</i></b>				<b>2,17</b>

Fuente: Elaboración propia

El costo unitario aproximado del jabón obtenido es de **2,17 Bs**.

**CAPÍTULO V**  
**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 CONCLUSIONES

El estudio de investigación permitió generar información para la elaboración de Jabón duro a partir de aceite usado en frituras de pollo, siendo este un producto de primera necesidad y a bajo costo.

De acuerdo a los objetivos planteados inicialmente en esta investigación se concluye:

1. La caracterización del aceite usado dio como resultado:

<i>Detalle</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>
Índice de Saponificación	203,37	mgKOH/gr de aceite
Índice de Acidez	2,13	%
Índice de Peróxidos	19,77	meqO <sub>2</sub> /kg
Densidad	0,9193	g/ml
Color	Café oscuro	Visual

Fuente: Elaboración Propia

En general las características presentadas por el aceite usado son las adecuadas para considerarlo materia prima para la elaboración de jabón duro ya que de acuerdo a los especificado en las características de la elaboración general del jabón presenta características similares.

2. De acuerdo a lo analizado en los capítulos anteriores se determinó que la forma de obtención del jabón duro es la reacción en caliente ya que :
  - Se puede acelerar la reacción química para que se complete en menor tiempo.
  - No requieren tiempo de reposo para su uso.
  - La mayoría de los jabones comerciales usan este proceso.

También se seleccionó el proceso discontinuo porque además de obtener un producto de buena calidad, tiene una gran flexibilidad de operación con respecto al tipo de materia prima y tiempo de operación.

3. Se pudo observar durante la realización de este trabajo, según los resultados obtenidos en el diseño experimental, que las variables de operación, temperatura, tiempo y concentración del hidróxido de sodio, influyen de manera directa sobre el proceso de obtención del jabón duro, son determinantes para obtener un producto de calidad aceptable.

De las experiencias realizadas la formulación con la cual se obtiene un producto de calidad aceptable es la siguiente:

Tiempo de reacción = 60 min

Temperatura de reacción = 40 °C

Concentración del hidróxido de sodio = 40 % m/v (43,6 ml)

4. El proceso que se estableció para la elaboración de jabón duro a partir de aceite usado consta de cuatro etapas; siendo la primera una etapa de acondicionamiento de la materia prima que se realiza con la finalidad de eliminar impurezas; entra a una segunda etapa que corresponde a la saponificación entre los ácidos grasos principalmente el linoleico, oleico, linolénico, palmítico y esteárico del aceite usado y el hidróxido de sodio por el método de reacción en caliente; la tercera etapa al moldeado de la pasta jabonosa y la cuarta etapa al secado del jabón.

En beneficio del jabón obtenido, se debe tener en cuenta que el procedimiento aplicado no contempló el lavado final para eliminar álcali y glicerol, lo cual disminuyó la proporción de agua incorporada durante el procesamiento.

5. La comparación que se realizó al jabón elaborado con los jabones que se comercializan en el mercado, fue beneficiosa para comprender cuál era los parámetros del producto y se propuso llegar a este rango aceptable.

<i>Propiedad Evaluada</i>	<i>Oso</i>	<i>Cosquín</i>	<i>Jabón obtenido</i>
Forma	Barra	Barra	Barra
Color	Verde	Verde	Crema
ph	10,80	10,74	10,59
Textura	Suave	Suave	Suave
Humedad (%)	5,83	4,56	9,12
Índice de saponificación (mg KOH/gr aceite)	20,09	18,45	17,72
Dureza <sup>a</sup>	1,25	1,25	1,25

Fuente: Elaboración Propia

6. Puede afirmarse que las cantidades de solución de NaOH utilizadas en la saponificación, las cuales fueron calculadas a partir del índice de saponificación para el aceite a una concentración del 40% m/v de NaOH, fueron las correctas porque permitieron la saponificación de los triglicéridos presentes en los aceites.
7. El valor obtenido del cálculo estequiométrico es importante para determinar la cantidad necesaria del agente saponificante, así se obtuvo un pH de 10,59 con lo cual se logra un producto aceptable.
8. En cuanto a textura y presentación de los jabones obtenidos presentan una textura fina, uniforme y compacta, es decir, homogénea en la plasticidad del jabón duro, el producto obtenido no presenta grumos debido a que el método utilizado en el laboratorio (procedimiento sin calderas), presentó todas las condiciones para fabricar un jabón duro sin tener los equipos sofisticados usados en la industria y por los resultados de los análisis fisicoquímicos realizados se observó que los jabones obtenidos están dentro de parámetro, lo cual indica que se está frente a un producto que es fácilmente competitivo en aceptabilidad con los jabones comerciales.
9. También se puede observar que los valores obtenidos del porcentaje de humedad de los jabones comerciales %H=5,83 Jabón OSO y %H=4,56 Jabón Cosquín, es menor que los jabones elaborados %H = 9,12, debido al uso de maquinarias industriales y condiciones de almacenamiento que permite que la

cantidad de agua evaporada sea mayor. La facilidad de disminuir la cantidad de agua en el jabón es un aspecto importante a considerar porque implica un menor consumo de energía para su eliminación, lo cual puede favorecer la disminución de costos de producción.

10. Se determinó el costo unitario de producción con 2,17 Bs por cada barra de jabón de 200 gr.

De esta manera se demostró que es posible aprovechar los desechos de aceite comestible provenientes de las frituras de pollo, usando como materia prima en la elaboración de un producto con un alto valor agregado.

## **5.2 RECOMENDACIONES**

Las siguientes recomendaciones son dadas con la finalidad de orientar y mejorar el proceso.

1. Se recomienda realizar un análisis fisicoquímico de la materia prima (aceite usado), para conocer su composición de ácidos grasos.
2. Se recomienda realizar un análisis fisicoquímico completo del producto final, para determinar las especificaciones completas del jabón, para conocer su composición, sus características y así poder comparar y cumplir los parámetros de los jabones de lavar que plantea la **Norma Boliviana NB 195 Agentes Tensoactivos - Jabones de lavar en panes o barras**, para así estar seguros y respaldarse de que el producto es de buena calidad, ya que debido a falta de reactivos no se lo pudo determinar.
3. Realizar un estudio de prefactibilidad económica que permita definir la rentabilidad de producir jabón duro de aceite usado a escala industrial en las condiciones establecidas en esta investigación.
4. Evaluar el efecto de la incorporación de aceite vegetal nuevo o sebo vacuno a diferentes proporciones en la elaboración de jabón duro.
5. Se recomienda además, desarrollar políticas de incentivo para establecer pequeñas plantas piloto en las que se pueda elaborar jabón duro, de esta manera minimizar el daño ambiental.



## **BIBLIOGRAFÍA**

## BIBLIOGRAFÍA

### LIBROS CONSULTADOS

1. **Bailey Alton E. 2° edición**, (1951) *Aceites y Grasas Industriales*, Editorial Reverté, Barcelona
2. **Perry R.H 6° edición** (1994) *Manual del Ingeniero Químico*. Editorial McGraw Hill.
3. **Solomons T.W.G 2° edición** (1999) *Química Orgánica*. Editorial Limusa Noriega.
4. **Bauer E.L. 1° edición** (1974) *Manual de Estadística para Químicos*. Editorial Alhambra, S.A., España.
5. **Formoso A. 12° edición** (1971) *2000 Procedimientos Industriales al Alcance de Todos*. Editorial La Coruña, España.
6. **Sánchez Ma. Del Carmen** (2005) *Guías de Laboratorio Química Orgánica II*.
7. **Himmelblau D. 4° edición** (1998) *Balances de Materia y Energía*. University of Texas.
8. **Valiente B. 1° edición** (1994) *Problemas de Balance de Materia y Energía en la Industria alimentaria*. Noriega Editores.
9. **Levenspiel, O.** (1976) *Ingeniería de las Reacciones Químicas*. Limusa – Noriega, México.

### PÁGINAS WEBS CONSULTADAS

1. **Márquez R. (2014) (página disponible)** *Producción de Jabón*. Fecha de consulta 26 de mayo del 2014, de:

<http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/marquezronald/wp-content/uploads/6-REVISION-BIBLIOGRAFICA1.pdf>

**2. Galindo R. (2014)** *Cómo hacer Jabones*. Fecha de consulta 28 de mayo del 2014, **de:**

<http://www.monografias.com/trabajos95/como-hacer-jabones/como-hacer-jabones.shtml>

**3. Wikipedia (18 de mayo 2014)** *Aceite de Cocina*. Fecha de consulta 29 de mayo del 2014, **de:**

[http://es.wikipedia.org/wiki/Aceite\\_de\\_cocina](http://es.wikipedia.org/wiki/Aceite_de_cocina)

**4. Giménez J. Monografías (2011)** *Aceite Comestible*. Fecha de consulta 29 de mayo del 2014, **de:**

<http://www.monografias.com/trabajos35/obtencion-aceite/obtencion-aceite.shtml>

**5. Wikipedia (6 de mayo 2014)** *Hidróxido de Sodio*. Fecha de consulta 29 de mayo del 2014, **de:**

[http://es.wikipedia.org/wiki/Hidr%C3%B3xido\\_de\\_sodio](http://es.wikipedia.org/wiki/Hidr%C3%B3xido_de_sodio)

**6. Varón E. (5 de mayo 2008)** *Procesos de producción de jabones y detergentes*. Fecha de consulta 29 de mayo del 2014, **de:**

<http://producciondejabonesydetergesporestefa.blogspot.com/2008/05/proceso-productivo.html>

**7. Wadnípar M. (27 de agosto 2011)** *Reciclado y usos del aceite usado de cocina*. Fecha de consulta 29 de mayo del 2014, **de:**

<http://www.slideshare.net/girfish/reciclado-y-usos-del-aceite-usado-de-cocinappt-grupo-wiki-hugo-jaime-lina-9034115>

**8. Colpos Mx. (1987)** *Determinación del Índice de Peróxidos*. Fecha de consulta 20 de junio del 2014, **de:**

<http://www.colpos.mx/bancodenormas/nmexicanas/NMX-F-154-1987.PDF>

**9. Rincón del Vago (1998)** *Jabón*. Fecha de consulta 28 de junio del 2014, **de:**

[http://html.rincondelvago.com/jabon\\_1.html](http://html.rincondelvago.com/jabon_1.html)

**10. ¡Despertad! (2005)** *De lujo a necesidad: la historia del jabón*. Fecha de consulta 28 de junio del 2014, **de:**

<http://wol.jw.org/es/wol/d/r4/lp-s/102005564>

**11. Mendrulandia (2009)** *Breve historia del jabón*. Fecha de consulta 28 de junio del 2014, **de:**

<http://www.mendrulandia.es/?id=26>

**12. Wikipedia (2014)** *Jabón*. Fecha de consulta 23 de junio del 2015, **de:**

<https://es.wikipedia.org/wiki/Jab%C3%B3n>

**13. Universidad T. N. (2008)** *Tablas de Vapor de Agua*. Fecha de consulta 14 de febrero del 2016, **de:**

<https://www.frro.utn.edu.ar>

**14. Fuentes, Nuñez (2010)** *Evaluación del efecto del aceite de coroba en la elaboración de jabón cosmético*. Fecha de consulta 14 de febrero del 2016, **de:**

<https://ri.bib.udo.edu.ve/bitstream/123456789/2761/1/066-TEISIS.%20IQ.pdf>

**15. Mannise R. (2011)** *Jabón con aceite usado (Alta Calidad)* Fecha de consulta 17 de agosto del 2015, **de:**

<https://ecocosas.com/eco-ideas/jabon-con-aceite-usado-alta-calidad/>

**16. Slideshare (2013)** *Jabones de casa*. Fecha de consulta 02 de septiembre del 2015, **de:**

<https://jabonesdecasa.com/p/tabla-indices-de-saponificación.html>

**17. Slideshare (2012)** *Estudio técnico sobre la elaboración del jabón*. Fecha de consulta 03 de septiembre del 2015, **de:**

<https://es.slideshare.net/mobile/erickrenato>

**18. Responsible Care (1998)** *Manual de Solución de Soda Cáustica*. Fecha de consulta 23 de febrero del 2016, **de:**

[https://www.academia.edu/8169598/Manual\\_De\\_Solucion\\_De\\_Soda\\_Caustica\\_Contenidos](https://www.academia.edu/8169598/Manual_De_Solucion_De_Soda_Caustica_Contenidos)

**19. OMS (2005)** *Las Concentraciones de Acrilamida en los Alimentos Inquietan por sus Posibles Efectos de la Salud Pública*. Fecha de consulta 22 de abril del 2016, **de:**

<https://www.who.int/mediacentre/news/notes/2005/np06/es/>

**20. Guerrero C. (2014)** *Diseño de una Planta de Fabricación de Jabón a partir de Aceites Vegetales Usados*. Fecha de consulta 22 de abril del 2016, **de:**

<https://www.repositorio.ual.es:8080/jspui/bitstream/10835/3371/1/Proyecto.pdf>

**21. Borrás W. (2014)** *Tecnologías de Jabones, Aceites y Grasas*. Fecha de consulta 23 de abril del 2016, **de:**

<https://www.teoriadejabones.blogspot.com/2013/12/s>

**22. Hoja de Seguridad Hidróxido de Sodio (2010)**. Fecha de consulta 23 de abril del 2016, **de:**

<http://www.quimica.unam.mx/IMG/pdf/2hsnaoh.pdf>

**23. Bloque Informativo Erika Paola**. Fecha de consulta 30 de abril del 2016, **de:**

<http://erikapaolar.blogspot.com/2013/06/la-limpieza-el-jabon-y-los-tensoactivos.html>

**24. Revista Fedepalma**. Fecha de consulta 26 de junio del 2016, **de:**

<http://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/361/361>

**25. Mora J. (2007)** *Tesis Efecto de la temperatura en la variación de la viscosidad de un aceite degradado por fritura en inmersión de papa*. Fecha de consulta 22 de agosto del 2016, **de:**

[http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/hermesoft/portallG/home\\_1/recursos/tesis/contenidos/tesis\\_septimebre/05092007/efecto\\_de\\_la\\_temperatura.pdf](http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/hermesoft/portallG/home_1/recursos/tesis/contenidos/tesis_septimebre/05092007/efecto_de_la_temperatura.pdf)

**26. Ficha de sustancias químicas.** Fecha de consulta 25 de agosto del 2016, **de:**

[http://biblioteca.duoc.cl/bdigital/esco/INGENIERIA\\_PREVENCION/Ficha\\_quimica\\_hidroxido\\_de\\_sodio.pdf](http://biblioteca.duoc.cl/bdigital/esco/INGENIERIA_PREVENCION/Ficha_quimica_hidroxido_de_sodio.pdf)

**27. Diego Gerra (2014)** *Propuesta reciclado de aceite de cocina usado*. Fecha de consulta 25 de agosto del 2016, **de:**

<https://prezi.com/milwztzapchp/reciclaje-de-aceite-usado-de-cocina/>

**28. Biología 1 (2015)** *Biomoléculas orgánicas*. Fecha de consulta 25 de agosto del 2016, **de:**

**29. Nutribiota (2009)** *Cómo hacer jabón*. Fecha de consulta 25 de agosto del 2016, **de:**

<http://www.nutribiota.net/blog/index.php/recursos/jabon>

**30. Fabricación de jabón en pequeña escala.** Fecha de consulta 25 de agosto del 2016, **de:**

<http://www.textoscientificos.com/jabon/escala>

**31. Bastidas V. – Montilla E. (2003)** *Práctica de laboratorio “Grasas y Aceites”*. Fecha de consulta 25 de agosto del 2016, **de:**

<http://es.slideshare.net/DIANITAPRADO/grasas-y-aceites-18380801>

**32. Saponificación detallada (2012)** *Proyecto de Química Orgánica Saponificación*. Fecha de consulta 25 de agosto del 2016, **de:**

<http://itesosaponificacion.blogspot.com/p/saponificacion.html>

**33. Esquivel A. (2015)** *Cambios Químicos de los Aceites Comestibles durante el Proceso de Fritura*, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Fecha de consulta 10 de septiembre del 2016, **de:**

<https://www.uaeh.edu.mx/scige/boleyin/icbi/n3/e3.html>

**34.** Castañeda A. (2016) *Estudio de la Degradación de Ácidos Grasos contenidos en Aceites Comestibles sometidos a Estrés Térmico (200- 220°C)*. Fecha de consulta 13 de septiembre del 2016, **de:**

<http://www.fcb.uanl.mx.volumen1/1/1/3.pdf>